



جمهوری اسلامی ایران

وزارت آموزش پرورش

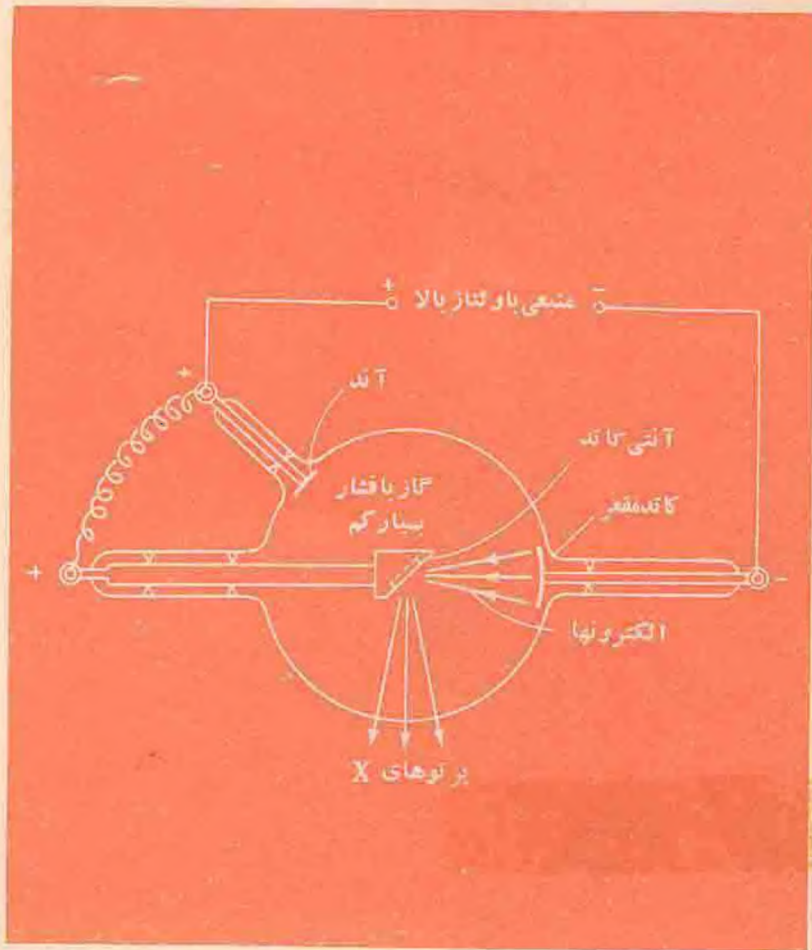
تیم دائم خدمت است

سال سوم

آموزش متوسطه عمومی

ریاضی و فیزیک

# فیزیک



بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

# فيزيك

وزارت عالی و دانش و فرهنگ  
وزارت معارف و اوقاف و صنایع مستظرفه  
کتابخانه ملی افغانستان  
شماره ثبت: ۱۳۶۰/۴۴۴۴۴۴  
۸۴، ۶۴

سال سوم

آموزش متوسطه عمومی

ریاضی و فیزیک

پدیدآورندگان

- |                                      |            |
|--------------------------------------|------------|
| ● ابوالقاسم قلمسیاه ● محمدعلی بیگامی | مؤلفان     |
| اسفندیار معتمدی                      | کارشناس    |
| طهمورث حسن پور                       | صفحه پرداز |
| خسرو مدیریان                         | رام        |
| چاپ از : چاپخانه پایا کرج            | چاپ از     |

حقوق مادی این اثر متعلق به وزارت  
آموزش و پرورش است

۱۳۶۰



## الکتریسیته ساکن

در این بخش ما، دوباره، به بررسی ساختمان ماده برمی گردیم و بی می بینیم که ماده به طور کلی دارای دو نوع بار الکتریکی مثبت و منفی است. بار الکتریکی در ماده همواره به صورت مضربی از یک بار الکتریکی پایه است که در پروتون یا الکترون وجود دارد. بنابراین الکتریسیته هم مانند ماده، ساختمان ذره ای دارد. با بررسی خواص بارهای الکتریکی، بهتر به ماهیت ماده پی می بریم. مثلاً این خاصیت که بارهای الکتریکی همنوع یکدیگر را می دانند و بارهای الکتریکی با نوع مخالف یکدیگر را می دانند، این واقعیت را نشان می دهد که درون ماده نیروهای الکتریکی موجود است: نیروهای پیوستگی بین مولکولهای اجسام جامد یا مایع به سبب وجود نیروهای جاذبه الکتریکی بین بارهای الکتریکی از نوع مخالف است و نیروهای مقاومی که به هنگام تراکم ماده ظاهر می شوند به علت وجود نیروهای رانش بین بارهای الکتریکی همنوع است. حرکت این بارهای الکتریکی، موجب تولید جریان الکتریسیته، یا به اصطلاح متداول، جریان برق می شود که ما در خانه و صنعت از آن استفاده می کنیم. این واقعیت که جریان برق می تواند موتورها را به کار اندازد و کار انجام دهد نشان می دهد که الکتریسیته حامل انرژی است و چنان که می دانید این انرژی به گرما و نور و صورتهای دیگر انرژی تبدیل می شود.



### تولید الکتریسیته ساکن به وسیله مالش

دهید ذره های گرد و غبار یا خرده های کاغذ را جذب می کند. همچنین اگر دره های خیلی خشک، سطح آینه یا شیشه پنجره را با یک تکه پارچه خشک تمیز

می دانید هر گاه شانه یا یک میله پلاستیکی را با لباس خود یا بایک تکه پارچه پشمی خشک مالش

کنید این هدیده اتفاق می افتد و ذره های گرد و غبار معلق در هوا و کرکهای جدا شده از پارچه به سطح آینه یا شیشه می چسبند به طوری که پاک کردن سطح آنها از این ذره ها دشوار است .

پاره ای از مواد مانند پرسپکس<sup>۱</sup>، استات سلولز و مشتقات وینیل<sup>۲</sup> که در ساختن صفحه های گرامافون به کار می روند نیز در موقع مالش با پارچه پشمی همین خاصیت را با شدت بیشتری نشان می دهند . عاملی که سبب جذب این ذرات می شود جاذبه الکترویکی نام دارد و اجسامی که در اثر مالش این خاصیت را پیدا می کنند دارای الکتروسیسته ساکن می شوند .

سابقه دانش انسان در باره الکتروسیسته ساکن به ۶۰۰ سال پیش از میلاد مسیح می رسد یعنی زمانی که تالس فیلسوف یونانی پی برد که با در اثر مالش خرده های سبک اجسام را جذب می کند . کلمه الکتروسیسته هم به طوری که می دانید، از کلمه یونانی الکترون<sup>۳</sup> به معنی کهر یا گرفته شده است .

در اثر مالش بعضی از پارچه ها به هم نیز ممکن است الکتروسیسته ساکن تولید شود . هر کس که پیراهنی از جنس نایلون<sup>۴</sup> یا تریلن<sup>۵</sup> پوشیده باشد می داند که اغلب به ویژه هنگام از تن در آوردن آن در پایان روزی که هوا خشک بوده به شدت الکتروسیسته دار شده است .

تولید الکتروسیسته ساکن به وسیله مالش گاهی با صدا همراه است . مثلاً هنگام شانه کردن موی کاملاً خشک و تمیز، یا هنگام مالش دادن میله ای

از جنس ابونیت<sup>۶</sup> با پوست گربه یا پوست خز، یا به هنگام در آوردن پیرایه نایلونی یا بلوز پشمی از تن، این صدا شنیده می شود . علت تولید صدا، زدن جرقه های الکتریکی ضعیفی است که خود آنها را در جای تاریک نیز می توان دید .

### پرسش ۱-۱- آیا زدن برق بین ابرها نیز

به علت وجود الکتروسیسته ساکن در آنهاست ؟  
جرقه های حاصل از الکتروسیسته ساکن گاهی ممکن است خطرناک باشد و آن وقتی است که گازها یا بخارهای قابل اشتعال در هوا پراکنده شده باشند . مثلاً در بیمارستانها گاهی در اتاق عمل برای بیهوش کردن مریض از اتر استفاده می شود و بخار اتر در فضای اتاق بخش می گردد . اگر چرخهای تخت حامل بیمار مجهز به لاستیک باشد در اثر مالش این چرخها با بتو یا روکش مریض ممکن است در آنها الکتروسیسته ساکن تولید شود و جرقه بزند و همین جرقه باعث انفجار و خطر جانی بشود . امروزه برای جلوگیری از این خطر احتمالی به بدنه فلزی تخت حامل مریض زنجیر فلزی کوتاهی که با سطح زمین تماس دارد آویزان می کنند . در نتیجه بارهای الکتریکی تولید شده از راه این زنجیر به زمین می رود و از تولید جرقه و پیش آمد حادثه جلوگیری می شود .

### پرسش ۱-۲- چرا به عقب بدنه فلزی

نفتکشها زنجیر کوتاهی که با سطح زمین تماس دارد آویزان است ؟

گاهی در هوای خشک مردمی که از اتومبیل

۱- Perspex

۲- Vynil

۳- Elektron

۴- Nylon

۵- Terylene

۶- Ebonite

یا اتوبوس پیاده می‌شوند همین‌که پای خود را روی زمین می‌گذارند تکان (شوک) الکتریکی ضعیفی احساس می‌کنند. این تکان بدین سبب است که در اثر مالش مولکولهای گاز به جدار لوله در موقع خروج دود و همچنین در اثر مالش لباس مسافران به روکش صندلیها، الکتریسیته ساکن در وسیله تقویه تولید می‌شود.

### پوشش ۱-۳- اگر میله ابونیتی را با پارچه

پشمی یا با پوست حیوان مالش داده و بالای تعدادی گلوله‌های کوچک و سبک از مغز آقطی که آنها را روی میزی (به ویژه فلزی) قرار داده‌اید بگیرد گلوله‌ها به سرعت برای مدت کوتاهی بین میله و سطح میز بالا و پائین می‌روند. یعنی میله چند بار مرتباً گلوله‌ها را جذب و دفع می‌کند. چگونه این پدیده را توجیه می‌کنید؟

### الکتریسیته مثبت و منفی

پدیده دفع الکتریکی نخستین بار در سال ۱۶۷۲ میلادی توسط اتوفن گریکه که با نام او آشنا هستید بیان شد. او مشاهده کرد که پره‌های مرغ نخست جذب یک گلوله گوگردی باردار شده پس از آن رانده می‌شوند. صدوبنجاه سال بعد، در فرانسه محققى به نام شارل دوفى کشف کرد که دو جسم باردار همیشه یکدیگر را نمی‌رانند بلکه گاهی هم یکدیگر را می‌ربایند و به این نتیجه رسید که دو نوع بار الکتریکی وجود دارد. به طوری که بارهای الکتریکی هم نوع یکدیگر

را می‌رانند و بارهای الکتریکی که نوع آنها مختلف است یکدیگر را می‌ربایند. دوفی برای تشخیص این دو نوع الکتریسیته یکی را الکتریسیته شیشه‌ای و دیگری را الکتریسیته صمغی (رزینی) نامید. الکتریسیته شیشه‌ای از مالیدن شیشه به پارچه ابریشمی تولید می‌شود و الکتریسیته صمغی از مالیدن کهربا، گوگرد، لاک، ابونیت و بسیاری از مواد دیگر به بشم یا پوست حیوان به دست می‌آید.

بعدها معلوم شد که این طرز نامگذاری در پاره‌ای از موارد گمراه کننده است زیرا مثلاً شیشه سنگی زبر و دان‌دان در اثر مالش الکتریسیته صمغی تولید می‌کند و ابونیت بسیار صیقلی شده دارای نوع الکتریسیته شیشه‌ای می‌شود؛ از این رو، فرانکلین؟ دانشمند آمریکایی اصطلاح امروزی «الکتریسیته مثبت و منفی» را به جای دو نوع شیشه‌ای و صمغی وضع کرد.

بنا به روش سنتی و قدیمی، در آزمایشهای الکتریسیته ساکن برای تولید الکتریسیته مثبت شیشه را یا ابریشم و برای تولید الکتریسیته منفی ابونیت را یا پوست حیوان (مانند پوست گربه یا خز) مالش می‌دهند.

ولی امروزه، استات سلولز برای تولید الکتریسیته مثبت و پلی‌تن؟ برای تولید الکتریسیته منفی مناسب تر تشخیص داده شده است زیرا رطوبت هوا بر روی آنها کمتر اثر می‌گذارد.

پوشش ۱-۴- چرا اگر میله فلزی را در دست بگیریم و مالش دهیم بار الکتریکی در آن

ظاهر نمی‌شود؟

می‌شود، یعنی: اجسامی که دارای بارهای الکتریکی  
هموع هستند یکدیگر را می‌رانند و اجسامی که دارای  
بارهای الکتریکی از نوع مخالف هستند یکدیگر را  
می‌ربایند،

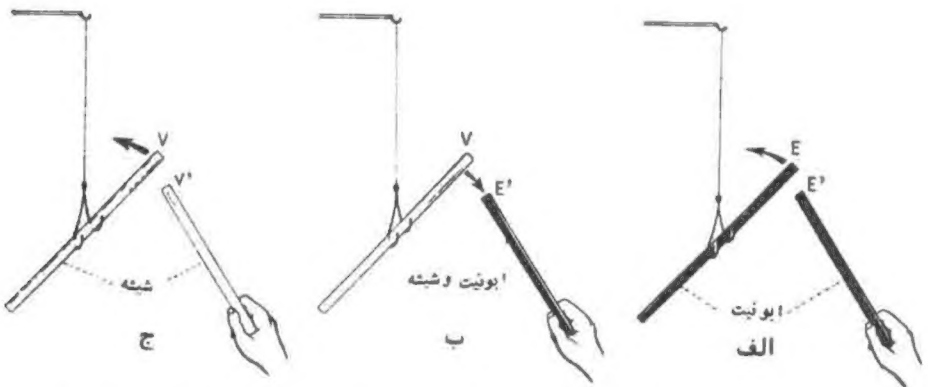
### تأثیر بارهای الکتریکی بر یکدیگر

یک میله شیشه‌ای گرم و خشک را با پارچه  
ابریشمی مالش داده و آن را روی قطعه سیم رکابی  
شکلی که با نخ به پایه‌ای آویزان است قرار می‌دهیم.  
هرگاه میله شیشه‌ای دیگری را که با همین روش  
بار الکتریکی یافته است به میله آویخته نزدیک کنیم  
رانده می‌شود.

آزمایش را با دوميله از جنس ابونیت که آنها  
را به پوست حیوان یا پارچه پشمی مالیده‌ایم تکرار  
می‌کنیم. میله آویخته باز هم رانده می‌شود. بار  
دیگر آزمایش را با يك میله شیشه‌ای و يك میله  
ابونیتی الکتریسته‌دار انجام می‌دهیم، این بار میله  
آویخته شده جذب میله دیگر می‌شود (شکل ۱-۱).  
از این آزمایش قانون اساسی الکتریسته ساکن نتیجه

### در اثر مالش دو نوع بار الکتریکی مخالف ولی مساوی تولید می‌شود

آزمایش نشان می‌دهد وقتی که دو جسم مختلف  
به هم مالیده می‌شوند هر دو جسم بار الکتریکی پیدا  
می‌کنند. یکی از دو جسم دارای بار الکتریکی  
مثبت و دیگری دارای بار الکتریکی منفی می‌گردد  
و اندازه دوبرار الکتریکی مثبت و منفی با هم برابر  
است. مثلاً وقتی که يك میله شیشه‌ای به پارچه  
ابریشمی مالیده می‌شود، در میله بار مثبت و در  
پارچه بار منفی و مساوی بار مثبت شیشه به وجود  
می‌آید.



شکل ۱-۱- بارهای الکتریکی هموع یکدیگر را می‌رانند و بارهای الکتریکی با نوع مخالف یکدیگر را می‌ربایند.

این پدیده را می‌توان با نزدیک کردن پارچه ابریشمی به یک میله ابونیتی آویخته شده که دارای بار منفی است نشان داد و مشاهده کرد که میله ابونیتی از پارچه ابریشمی باردار دور می‌شود. هرگاه پارچه ابریشمی باردار و میله شیشه‌ای باردار را کاملاً باهم تماس دهیم مجموعه آنها بدون بار الکتریکی می‌شود و نشان می‌دهد دو نوع بار الکتریکی مخالف ولی مساوی یکدیگر را خنثی می‌کنند.

**پرسش ۱-۵-** اگر یک میله از جنس ابونیت را با پارچه پشمی مالش دهیم در این پارچه چه نوع الکتریسته تولید می‌شود؟

## اجسام رسانا و نارسانا

در بعضی از اجسام بار الکتریکی به آسانی جابه‌جا می‌شود. این اجسام را چنان که می‌دانید رسانا یا هادی می‌گویند ولی در بعضی از اجسام بار عای الکتریکی نمی‌توانند جابه‌جا شوند یا به سختی جابه‌جا می‌شوند. این گونه اجسام را نارسانا یا عایق می‌نامند. در میان اجسام جامد، همه فلزات و کربن رساناهای خوبی هستند به همین جهت از آنها در زندگی و در صنعت، برای انتقال الکتریسته استفاده می‌شود. بعضی از مایعات نیز رساناهای خوبی هستند ولی همه گازها از جمله هوا هنگامی که کاملاً خشک باشند نارسانا هستند. کهربا، شیشه، چینی، لاستیک، میکا، ابریشم، ابونیت، چوب پنبه، سواد پلاستیکی و گوگرد از نارساناهای خوب به‌شمار می‌روند.

نخستین کسی که به‌طور جدی الکتریسته ساکن را مورد مطالعه قرار داد ویلیام گیلبرت است. او

در کتاب خود به نام ماگنت فهرست مفصلی از اجسام رسانا و نارسانا داده است ولی مواد نارسانا که در اثر مالش الکتریسته دار می‌شوند اجسام الکتریکی و مواد رسانا را که در اثر مالش الکتریسته در آنها ظاهر نمی‌شود اجسام غیر الکتریکی نام نهاده است.

**پرسش ۱-۶-** چگونه می‌توان نشان داد که یک میله فلزی هم در اثر مالش الکتریسته دار می‌شود؟

دوستان سال پس از انتشار کتاب گیلبرت جریان الکتریسته کشف شد و آن وقت دانشمندان متوجه شدند که الکتریسته از اجسامی که گیلبرت آنها را اجسام الکتریکی نامیده بود نمی‌گذرد و برعکس اجسام غیر الکتریکی به آسانی الکتریسته را از خود عبور می‌دهند.

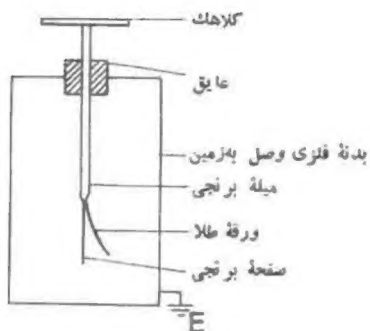
گیلبرت اهمیت خشک بودن اسبابها را در آزمایشهای الکتریسته ساکن یادآور می‌شود: آب ناخالص یک ماده رساناست، لایه نازکی از رطوبت که در اثرتراکم بخار آب موجود در هوا یا رطوبت دست بر اجسام نارسانا می‌نشیند الکتریسته حاصل را به زمین انتقال می‌دهد بنابراین برای این که آزمایشهای الکتریسته ساکن موفقیت آمیز باشند باید اسبابهای آزمایش کاملاً خشک باشند به ویژه میله‌های شیشه‌ای را باید پیش از آزمایش گرم و خشک کرد.

## برق‌نما یا الکتروسکوپ

می‌دانید برق‌نما یا الکتروسکوپ اسبابی است که برای بی‌بردن به وجود بارهای الکتریکی کم و تعیین نوع بار الکتریکی به کار می‌رود.

شکل ۱-۲- نوع متداول الکتروسکوپ را





شکل ۳-۱- طرح ساده الکتروسکوپ .

مقدار الکتریسیته داده شده به الکتروسکوپ باشد؟  
**پرسش ۱-۹-** به نظر شما چگونه می توان نوع الکتریسیته مثبت یا منفی موجود در یک جسم را به وسیله الکتروسکوپ مشخص کرد؟

## تولید الکتریسیته ساکن در اثر مجاورت (القای الکتریسته)

گفتیم که با نزدیک کردن یک جسم باردار به کلاهک الکتروسکوپ ورقه طلا از صفحه مقابل خود دور می شود. این پدیده نشان می دهد که الکتریسته در اثر مجاورت یک جسم باردار به الکتروسکوپ در آن القا می شود. آزمایش زیر شمارا به طرز تولید الکتریسته القایی در اجسام رسانا آشنا تر می سازد:  
 الف- دو کره فلزی (برنجی یا مسی یا آلومینیومی) A و B را که روی پایه های نارسانا نصب شده اند طوری کنار هم قرار می دهیم که باهم تماس داشته و مجموعه آنها در حکم یک جسم رسانا باشد ( شکل ۳-۱ الف ).

ب- میله ای از جنس ابونیت یا پلی تن را که دارای بار الکتریکی منفی است به کره ها نزدیک

نشان می دهد. این اسباب از یک میله فلزی (مثلا برنجی) تشکیل یافته است که به سر بالایی آن کلاهکی به شکل قرص یا گلوله نصب شده و به سر پایینی آن یک صفحه فلزی مستطیل شکل کوچک با یک ورقه خیلی نازک از طلا یا آلومینیم وصل گردیده است. (در بعضی از الکتروسکوپها به جای صفحه مستطیل شکل کوچک فلزی، یک ورقه طلای دیگر وصل شده است یعنی در پایین میله فلزی دو ورقه نازک طلا نصب شده است).

ورقه طلا یا آلومینیم به این جهت به کار می رود که می توان از آنها ورقه های خیلی نازک تهیه کرد. ورقه نازک طلا در یک محفظه فلزی که پنجره شیشه ای دارد قرار داده می شود تا از جریان هوا و بارهای الکتریکی احتمالی موجود در آن محافظت شود. هنگام کار با الکتروسکوپ بدنه فلزی محفظه به زمین متصل می شود. میله برنجی را از سوراخ یک قطعه ماده عایقی مانند پلی تن که به شکل چوب پنبه است گذرانده و آن را مطابق شکل در محفظه نگاه داشته اند.

**پرسش ۱-۷-** به نظر شما اتصال بدنه الکتروسکوپ به زمین به چه منظور است؟

برای پی بردن به وجود الکتریسته در یک جسم، آن را به کلاهک الکتروسکوپ نزدیک می کنند یا تماس می دهند. الکتریسته از راه میله الکتروسکوپ به ورقه طلا و صفحه فلزی مقابل آن منتقل می شود و چون صفحه و ورقه هر دو یک نوع بار الکتریکی پیدا می کنند ورقه از صفحه دور می شود و با آن زاویه ای می سازد که هر چه اندازه بار الکتریکی بیشتر باشد این زاویه بزرگتر است.

**پرسش ۱-۸-** آیا این زاویه ممکن است معرف



می‌کنیم. در کره A الکتریسته مثبت و در کره B الکتریسته منفی القامی شود (شکل ۱-۳-ب).

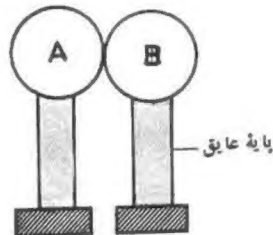
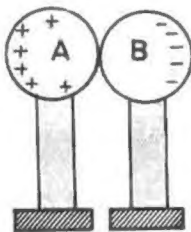
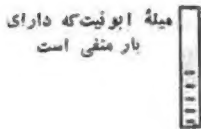
ج- درحالی که میله القاکننده مجاور A و B است کره B را از A دور می‌کنیم (شکل ۱-۳-ج).

د- میله را از کنار کره‌ها دور می‌کنیم. کره A که به میله نزدیکتر بوده است دارای بار مثبت و کره B دارای بار منفی می‌شود. نوع بارهای دو کره A و B را می‌توان با الکتروسکوپ که از پیش باردار شده است مشخص کرد. مثلاً اگر کره A را که دارای بار مثبت است به الکتروسکوپ که آن هم بار مثبت دارد نزدیک کنیم انحراف ورقه آن بیشتر می‌شود و اگر کره B را که بار منفی دارد به الکتروسکوپ

که با الکتریسته منفی باردار شده است نزدیک کنیم انحراف بیشتری را نشان می‌دهد.

پوشش ۹-۱۰- اگر در این آزمایش به جای میله ابونیتی از میله شیشه‌ای که دارای بار مثبت است استفاده کنیم بارهای الکتریکی که در دو کره القا می‌شوند چگونه‌اند؟

پوشش ۹-۱۱- اگر یک میله فلزی را به طور افقی روی پایه نارسا نایی قرار داده و به یک سر آن میله‌ای را که دارای بار الکتریکی منفی است نزدیک کنیم بارهای الکتریکی القا شده در آن چگونه پخش می‌شوند؟



ب- با نزدیک کردن میله ابونیتی باردار دو بار الکتریکی مثبت و منفی به ترتیب در دو کره A و B القا می‌شود.

الف- دو کره رسانای بدون بار الکتریکی که بر پایه عایق قرار داشته و با هم در تماسند.



د- میله القاکننده الکتریسته را دور می‌کنیم. در دو کره بارهای الکتریکی مخالف و مساوی باقی می‌ماند.

ج- درحالی که میله باردار در مجاورت کره است آنها را از هم دور می‌کنیم.

شکل ۱-۳- ایجاد الکتریسته در اثر مجاورت

## فرضیه الکترونی در باره تولید الکتریسیته ساکن

چگونه می‌توانیم علت الکتریسیته‌دار شدن يك جسم را به وسیله مالش یا در اثر القا توجیه کنیم؟

گفتیم وقتی که دو جسم را بهم مالش می‌دهیم در یکی الکتریسیته مثبت و در دیگری الکتریسیته منفی پیدا می‌شود. این واقعیت مارا به این مطلب رهنمون می‌کند که ماده خود دارای تعداد زیادی بار الکتریکی مثبت و منفی است. وقتی جسم بدون بار الکتریکی است، بارهای مثبت و منفی باهم برابر بوده و اثر یکدیگر را خنثی می‌کنند ولی هنگامی که تعادل بین بارهای مثبت و منفی در جسم بهم می‌خورد یکی از این دو نوع بار در جسم بر دیگری فزونی می‌یابد و در آن بار الکتریکی ظاهر می‌شود. وقتی که دو جسم بهم مالیده می‌شوند، در مدت مالش بارهای الکتریکی از یکی به دیگری می‌رود، در نتیجه تعادل بین بارها در دو جسم بهم می‌خورد و هر دو جسم الکتریسیته‌دار می‌شوند. اینک این پرسش پیش می‌آید که بارهای الکتریکی به چه صورت از یک جسم به جسم دیگر منتقل می‌شوند. پاسخ این پرسش را دانشمندان پس از مشاهدات و آزمایشهای بسیار با وضع تئوری ساختمان اتم داده‌اند. می‌دانید که هر اتم دارای هسته مرکزی است که خود از ذرات به نام پروتون و نوترون تشکیل یافته است و ذرات کوچکتری به نام الکترون با انرژیهای متفاوت (به عبارت دیگر در ترازهای مختلف انرژی) به دور هسته مرکزی می‌چرخند، این الکترونها دارای بار منفی هستند. الگوی ساختمان اتم و ترازهای مختلف انرژی آنرا به تدریج خواهید آموخت،

در اینجا فقط یادآور می‌شویم که اتمهای همه عناصر براساس همین الگو ساخته شده‌اند و فرق آنها با یکدیگر در تعداد پروتونها و نوترونهای درون هسته است.

همه الکترونهای اجسام مختلف یکسانند و هر يك از آنها حامل مقداری الکتریسیته منفی است که به عنوان کوچکترین بار الکتریکی مستقل موجود در ماده شناخته شده است. از نظر الکتریکی پروتونها نیز دارای اهمیت هستند زیرا هر يك از آنها دارای بار الکتریکی مثبتی است که اندازه آن برابر بار الکتریکی منفی يك الکترون است. چون در حالت عادی تعداد الکترونها در هر اتم برابر تعداد پروتونها است، پس هر اتم از لحاظ الکتریکی يك مجموعه خنثی است. بنابراین الکتریسیته يك چیز جدا از ماده نیست بلکه در حقیقت جزئی از مصالح ساختمان اتمهای ماده به شهاد می‌دهد. خواهیم دید، این امکان وجود دارد که الکترونها از اتمهای خود جدا شوند و اگر اتفاق افتد که تعدادی از اتمهای يك جسم الکترون از دست بدهند، در اتمهای جسم و در نتیجه در خود جسم، بار الکتریکی مثبت باقی می‌ماند. از طرف دیگر، اگر جسمی تعدادی الکترون اضافی دریافت کند دارای بار الکتریکی منفی می‌شود. باید در نظر داشته باشیم که انتقال پروتون از يك جسم به جسم دیگر در شرایط عادی ممکن نیست زیرا پروتونها درون هسته اتمها جای دارند و نمی‌توانند جابه‌جا شوند و تمام پدیده‌های مربوط به الکتریسیته ساکن به وسیله جابه‌جا شدن الکترونها توجیه می‌شوند. اینک به توجیه پاره‌ای از این پدیده‌ها که با آنها آشنا شده‌اید می‌پردازیم:

۱ - چگونگی تولید الکتریسته به وسیله مالش -  
وقتی که يك میله شیشه‌ای به پارچه ابریشمی مالیده می‌شود تعدادی از الکترونهای شیشه به ابریشم می‌پیوندد، و در نتیجه، شیشه بار الکتریکی مثبت و ابریشم بار الکتریکی منفی پیدا می‌کند. به همین ترتیب وقتی که میله ابونیتی با پوست حیوان مالش داده می‌شود الکترونها از پوست به میله ابونیتی می‌پیوندند و میله بار منفی و پوست بار مثبت می‌یابد. علت این که چرا الکترونها از شیشه به ابریشم و از پوست به ابونیتی می‌روند و عکس این پدیده اتفاق نمی‌افتد هنوز به خوبی روشن نیست .

۲- الکترونها در اجسام نارسانا و رسانا - فرق بین يك جسم نارسانا و يك جسم رسانا این است که در جسم نارسانا الکترونها به شدت به اتمهای خود پیوسته‌اند و به آسانی جابه‌جا نمی‌شوند در صورتی که در جسم رسانا الکترونها می‌توانند به آزادی از اتمی به اتم دیگر بروند . وقتی که يك میله ابونیتی را با دست گرفته و آن را با پوست حیوان مالش می‌دهیم الکترونها در سطح آن جمع می‌شوند و چون ابونیت نارسانا است این الکترونها نمی‌توانند در میله حرکت کنند و از راه دست به زمین بروند، در نتیجه بار الکتریکی در روی میله باقی می‌ماند . اگر يك میله برنجی را با دست گرفته و آن را با پوست حیوان مالش دهیم میله برنجی هم درست مانند میله ابونیتی با جذب الکترونهای اضافی بار الکتریکی منفی پیدا می‌کند ولی بار الکتریکی در آن آشکار نمی‌شود زیرا الکترونهای اضافی از راه

میله و دست و بدن که رسانا هستند به زمین می‌روند. اگر میله برنجی با دسته نارسانا بی گرفته شود الکترونهای اضافی میله دیگر نمی‌توانند از این دسته نارسانا بگذرند و در میله باقی می‌مانند . وجود بار اضافی منفی را در میله برنجی می‌توان با يك الکتروسکوپ که از پیش با الکتریسته منفی باردار شده است نشان داد. هر گاه میله را به این الکتروسکوپ نزدیک کنیم انحراف ورقه طلا بیشتر می‌شود .

۳- الکترونها و القای الکتریسته - به يك فرضیه الکترونی می‌توان به آسانی چگونگی تولید دو نوع الکتریسته القایی را در دو کره A و B ( شکل ۳-۱) توجیه کرد : با نزدیک شدن میله ابونیتی (که دارای بار منفی است) به کره A ، الکترونهای آزاد آن به طرف کره B رانده می‌شوند ، وقتی که دو کره از هم جدا می‌شوند الکترونهای رانده شده ، در کره B باقی می‌مانند. به عبارت دیگر در این عمل، تعدادی از الکترونهای کره A به کره B منتقل می‌شود و در نتیجه کره A بار مثبت و کره B بار منفی پیدا می‌کند .

### الکتروفور

در سال ۱۷۷۵ میلادی ولتا که در ایتالیا معلم فیزیک بود نامه‌ای به بریستلی<sup>۲</sup> (کشف اکسیژن) نوشت و در آن نامه شرح داد که اسبابی به نام الکتروفور اختراع کرده است .  
الکتروفور را می‌توان يك نوع ماشین مولد

قرص رانده شده اند از راه دست و بدن به زمین می روند و فقط بار مثبت در قرص باقی می ماند. (شکل ۱-۴ ب). (در بعضی از الکتروفورهای خود کار ، اتصال زمین توسط میخ برنجی که از میان صفحه نارسانا می گذرد صورت می گیرد).

ج- با دور کردن قرص فلزی از صفحه نارسانا در این قرص فقط بار الکتریکی مثبت وجود دارد (شکل ۱-۴ ج). الکتریسته ای که بدن ترتیب در قرص ایجاد می شود به اندازه ای است که اگر به لوله اجاق گاز نزدیک شود ممکن است با جرقه حاصل از آن گاز مشتعل شود.

## بخش بار الکتریکی بر روی اجسام رسانا

### الف- آزمایش فارادی - بخش بار الکتریکی

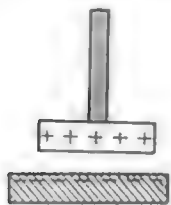
بر روی یک جسم رسانا را می توان با آزمایشی که نخستین بار توسط فارادی<sup>۱</sup> دانشمند انگلیسی در سال ۱۸۱۵ میلادی انجام شده است نشان داد. این آزمایش با یک ظرف استوانه ای شکل فلزی مانند یک قوطی یا یک سطل کوچک فلزی که روی

الکتریسته ساکن نامید که بر اساس خاصیت القای الکتریسته کار می کند و می توان با این اسباب از یک بار الکتریکی منفی بار الکتریکی مثبت به دست آورد.

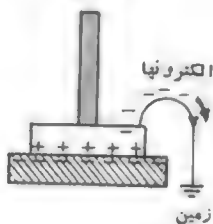
این اسباب از یک صفحه نارسانا از جنس ابونیت یا پلی تن و یک قرص فلزی (مثلا برنجی) که دسته نارسانا بی دارد تشکیل یافته است. شکل ۱-۴ طرز کار با الکتروفور در سه مرحله نشان می دهد.

الف - صفحه نارسانا نخست در اثر مالش با پوست حیوان بار الکتریکی منفی پیدا می کند و سپس قرص فلزی با دسته عایق خود روی آن قرار داده می شود. این عمل سبب می شود که دو نوع بار الکتریکی مثبت و منفی به ترتیب در روی سطح باینی و بالایی قرص القا شود (شکل ۱-۴ الف)، زیرا سطح پایینی قرص فلزی کاملا مسطح نیست و فقط در سه یا چهار نقطه با سطح صفحه نارسانای زیرین تماس دارد.

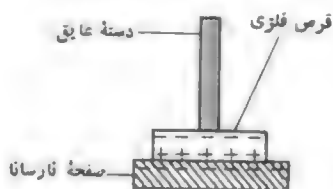
ب- سطح بالایی قرص فلزی به طور موقت با تماس انگشت دست به زمین اتصال داده می شود. در اثر این اتصال ، الکترونها بی که به سطح بالایی



ج - قرص از روی صفحه برداشته می شود.



ب - قرص فلزی به طور موقت به زمین متصل می شود.



الف- در اثر القا دو نوع بار الکتریکی در قرص پیدا می شود.

شکل ۱-۴- طرز کار با الکتروفور.

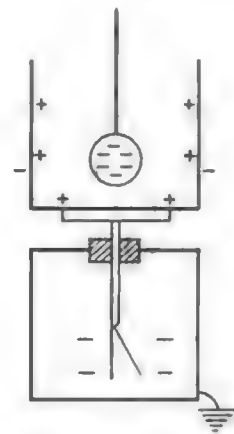
۱) Michael Faraday (۱۷۹۱-۱۸۶۷ م)

كلاھك الكتروسكوب قرار داده می شود (یا به الكتروسكوب متصل می گردد) و يك كره فلزی كوچك كه به دسته عایقی متصل است (یا به نخ ابریشمی خشك آویزان است) به آسانی عملی می شود (شكل ۵-۱).

اگر كره فلزی توسط منبع الكتریکی دیگری باردار شده درون ظرف برده شود ورقه الكتروسكوب منحرف می گردد. با حرکت دادن كره باردار در داخل ظرف حتی تماس دادن آن با بدنه داخلی ظرف، انحراف ورقه الكتروسكوب تغییر نمی كند ولی پس از تماس كره فلزی باردار با سطح داخلی ظرف، هم كره و هم این سطح بدون بار خواهد شد. علت ثابت ماندن انحراف ورقه الكتروسكوب پس از تماس كره باردار با بدنه داخلی ظرف این است كه :

۱) چگونگی پخش بار الكتریکی روی سطح بیرونی ظرف قبل و بعد از تماس تغییر نمی كند.

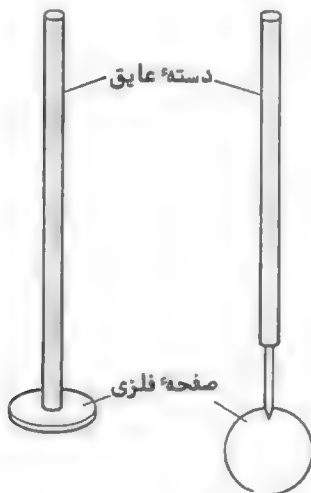
۲) اندازه الكتریسته القا شده روی سطح درونی ظرف با اندازه بار الكتریکی روی كره برابر ولی از نوع مخالف آن است.



شكل ۵-۱ - آزمایش فارادی

وقتی به يك جسم نارسانا از جنس لاستيك یا شیشه یا كهر یا بار الكتریکی داده می شود این جسم بار الكتریکی را در همان جایی كه از ابتدا متمرکز بوده است نگهدارند، به عبارت دیگر بار الكتریکی روی جسم نارسانا پخش نمی شود. ولی اگر به جسم رسانایی مثلا از جنس مس یا نقره یا آلومینیوم بار الكتریکی داده شود بار به سرعت در روی تمام سطح آن پخش می گردد.

ب - چگونگی پخش بار الكتریکی بر روی سطح اجسام رسانا را می توان به وسیله صفحه آزمون و الكتروسكوب معمولی بررسی كرد. صفحه آزمون صفحه رسانای كوچکی است كه به انتهای دسته عایقی نصب است (شكل ۵-۲) برای انتقال بار الكتریکی از روی يك جسم باردار به الكتروسكوب به كار می رود. صفحه آزمون را باید طوری انتخاب كرد كه تمام سطح آن بر هر قسمت از سطح جسمی كه مورد بررسی است كاملا منطبق شود. برای بررسی



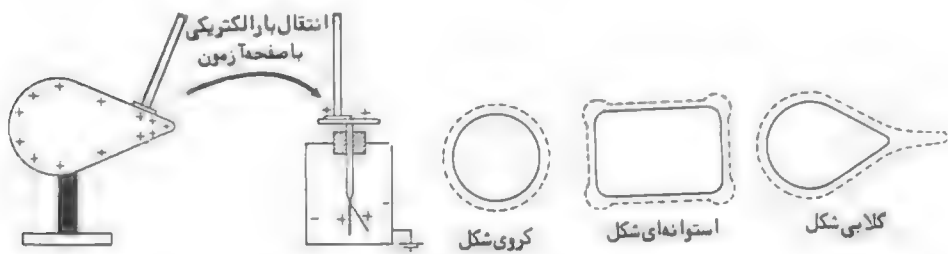
شكل ۵-۲ - صفحه آزمون

بخش بار الکتریکی بر روی سطح یک جسم رسانا ،  
صنعه آزمون را ( که دسته غایب آن در دست است )  
روی هر قسمت از سطح جسم باردار می گذارند پس  
آن را با کلاهک الکتروسکوپ تماس می دهند .

میزان انحراف ورقه متحرك الکتروسکوپ ،  
تقریباً معرف چگالی سطحی بار الکتریکی است که  
در هر قسمت از سطح جسم رسانا متمرکز شده است .  
نتایج حاصل از این بررسی نشان می دهد که التریسته  
نقطه در سطح خارجی اجسام رسانا ( چه توخالی و  
چه توپر ) جمع می شود و چگالی سطحی آن در جاهایی  
که برجستگی وجود دارد بیشتر است .

چگالی سطحی ، نابده تعریف ، عبارت است از  
مقدار بار الکتریکی که روی واحد سطح جسم رسانا  
جمع می شود . در شکل ۱-۷ چگونگی بخش بار  
الکتریکی در روی چند جسم با شکلهای مختلف  
نشان داده شده است . در این شکل فاصله خطوط  
نقطه چین از سطح اجسام نشان دهنده چگالی سطحی  
الکتریکی است و به طوری که دیده می شود چگالی  
سطحی الکتریکی در جاهای برجسته بیشتر است .

پرش ۱-۱۲- به نظر شما علت جمع شدن  
بار الکتریکی فقط در روی سطح اجسام رسانا  
چیست ؟



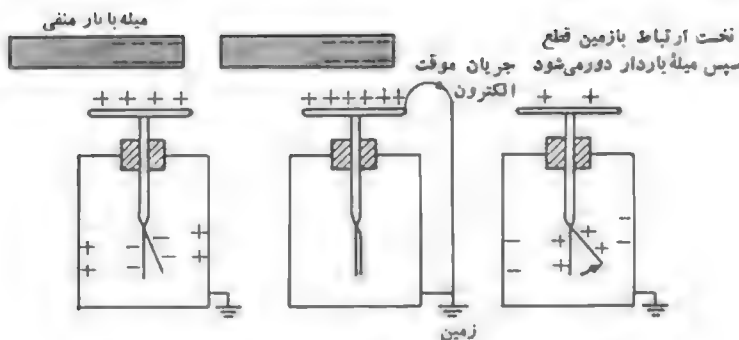
شکل ۱-۷ بررسی بحث بار الکتریکی روی سطح اجسام رسانا

نکاتی را که باید هنگام کار با الکتروسکوپ  
در نظر داشت

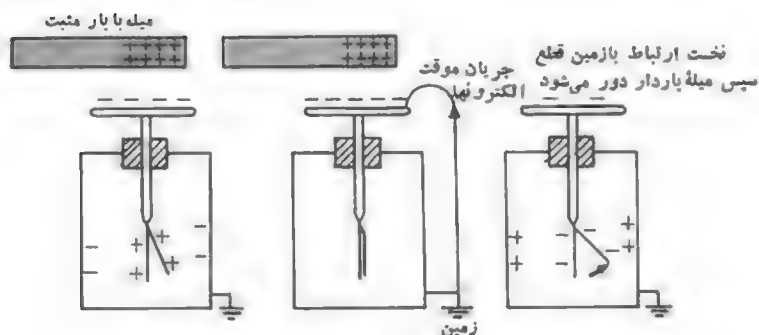
۱- برای باردار کردن الکتروسکوپ با  
التریسته مثبت یا منفی بهتر این است که از روش  
القا استفاده شود . در شکلهای ۱-۸ و ۱-۹ طرز  
باردار کردن الکتروسکوپ با بارهای مثبت و منفی  
نشان داده شده است . برای باردار کردن الکتروسکوپ  
با التریسته مورد نظر باید از میله بارداری که دارای  
بار مخالف است استفاده شود . برای این منظور  
باید میله باردار را به کلاهک الکتروسکوپ نزدیک

کرد تا ورقه طلا به اندازه دلخواه انحراف یابد و  
در همین حال الکتروسکوپ را به وسیله تماس با  
انگشت در مدت کوتاهی به زمین وصل کرد سپس  
انگشت را برداشت و میله باردار را از الکتروسکوپ  
دور کرد .

پرش ۱-۱۳- در شکل ۱-۹ نشان داده شده  
است که پس از ارتباط الکتروسکوپ با زمین الکترونها  
از زمین به سوی الکتروسکوپ جریان می یابند . آیا  
می توانید علت را توضیح دهید ؟  
۲- گفتیم که چگونه می توان به وسیله



شکل ۸-۹ باردار کردن الکتروسکوپ با بار مثبت باروش القا .



شکل ۹-۹ باردار کردن الکتروسکوپ با بار منفی به روش القا .

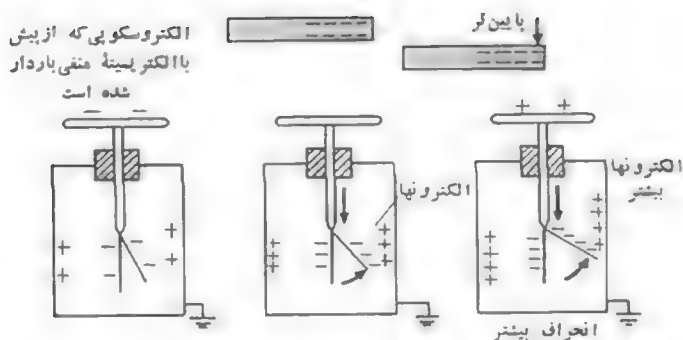
ولی اگر بار مورد آزمایش مخالف بار الکتروسکوپ باشد مسئله چندان ساده نیست و باید بیشتر دقت شود .

شکل ۱۱-۱ نشان می دهد وقتی که بار الکتریکی منفی قوی به الکتروسکوپ که از پیش بار مثبت دارد نزدیک شود چه اتفاق می افتد . جسم باردار که بالای کلاهک الکتروسکوپ (در فاصله نسبتاً دور) نگاه داشته می شود انحراف ورقه اندکی کاهش می یابد (شکل ۱۱-۱ ب) . زیرا تعدادی از الکترونهاى کلاهک به طرف ورقه طلا و صفحه مقابل

الکتروسکوپی که از پیش باردار شده است نوع بار الکتریکی يك جسم را تشخیص داد . بدیهی است بار الکتریکی هم نوع با بار الکتروسکوپ، سبب افزایش انحراف ورقه طلای آن می شود در صورتی که بار مخالف، انحراف این ورقه را کاهش می دهد .

وقتی که بار الکتریکی مورد آزمایش و بار الکتروسکوپ از يك نوع باشند مسئله ساده است و اشکالی پیش نمی آید و به طوری که در شکل ۱۱-۱ نمایش داده شده است هرچه میله باردار به الکتروسکوپ نزدیکتر شود انحراف ورقه طلا بیشتر می شود .

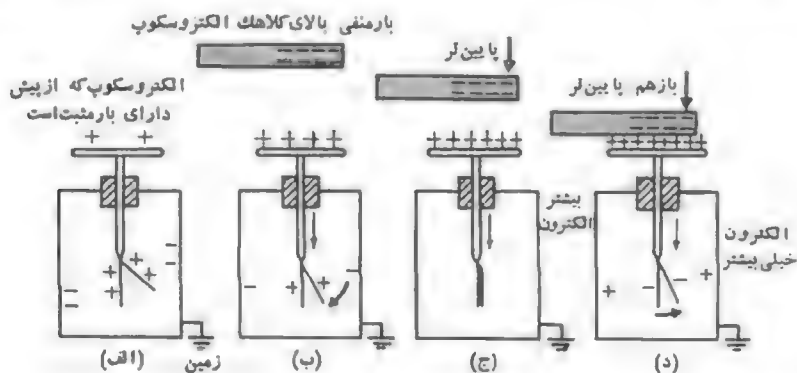




شکل ۱۰-۹- امتحان بار منفی توسط الکترو سکوپ که با الکتریسته منفی باردار شده است.

بنابراین هنگام آزمایش با الکترو سکوپ برای تشخیص نوع الکتریسته ، باید جسم باردار را در فاصله مناسبی بالای کلاهک آن گرفت و به آرامی به آن نزدیک کرد تا کاهش اولیه در میزان انحراف ورقه طلا، اگر وجود داشته باشد، از نظر نیفتد. به عبارت دیگر اگر نوع بارهای الکتریکی مخالف یکدیگر باشند و آزمایش کننده به سرعت جسم باردار را به الکترو سکوپ نزدیک کند و فقط انحراف آخری ورقه را مشاهده نماید در تشخیص نوع الکتریسته اشتباه خواهد کرد و نتیجه خواهد گرفت که الکترو سکوپ و جسم دارای بار هم نوع هستند. در صورتی که چنین نیست.

آن را رانده می شوند و مقداری از بار الکتریکی مثبت آن را خنثی می کنند . اگر جسم به تدریج به کلاهک نزدیک شود الکترونها ی بیشتری به طرف پایین الکترو سکوپ رانده می شوند تا این که بار مثبت ورقه و صفحه کاملاً خنثی شود و ورقه به صفحه مقابل خود بچسبد (شکل ۱۱-۱ ج). اگر از این لحظه به بعد باز هم جسم به کلاهک الکترو سکوپ نزدیک شود، الکترونها ی اضافی که به طرف صفحه و ورقه مقابل آن رانده می شوند سبب می شوند که ورقه دوباره از صفحه فاصله بگیرد (شکل ۱۱-۱ د).



شکل ۱۱-۱- اگر بار الکتریکی مخالف ، به الکترو سکوپ خیلی نزدیک شود در شناختن آن ممکن است اشتباه رخ دهد.

## خودتان آزمایش کنید

### ۱) وجود باز الکتریکی را در يك جسم آشکار سازید.

میله نازمانایی را بعد از اختیار دارید به وسیله مالش الکتریسته دار کنید و به کلاهك يك الكترولسکوپ بدون باز نزدیک کنید. ورقه طلا از صفحه مقابل خود دور می شود. علت دور شدن را توضیح دهید. وقتی که میله سردار را از الکترولسکوپ دور کنید ورقه طلا به جای خود بر می گردد. این نشان می دهد که الکتریسته القایی بواسطه در الکترولسکوپ موقتی است و با دور شدن میله القای شده از بین می رود. علت از بین رفتن باز الکترولسکوپ را بر اساس فرضیه کیهانی توضیح دهید. اگر بخواهید باز القای شده در الکترولسکوپ باقی بماند در حالی که میله را نزدیک الکترولسکوپ است انگشت خود را روی کلاهك آن بگذارید و سپس بردارید و میله را دور کنید.

### ۲) الکترولسکوپ را به وسیله تماس با جسمی که باز الکتریکی دارد باردار کنید.

يك میله ابونیتی یا لاکي، یا يك شانه را با بارچه شمی یا پوست حیوان (اگر در اختیار دارید) مالش دهید تا باردار شود. سپس میله را با کلاهك الکترولسکوپ تماس دهید. ورقه طلا از صفحه مقابل خود دور می شود. میله را دور کنید. اگر ورقه به جای خود برگردد و با صفحه مقابل خود زاویه بسازد. در این حالت الکترولسکوپ باردار شده است. انگشت خود را روی کلاهك الکترولسکوپ بگذارید. باز الکتریکی از راه دست و بدن شما به زمین می رود و الکترولسکوپ بی بار می شود. باردار کردن الکترولسکوپ به وسیله تماس جسم باردار با الکترولسکوپ چندان مناسب نیست و ممکن است نسجه غلط بگیرید. بهتر این است که الکترولسکوپ را به روش القای باردار کنید.

### ۳) نوع الکتریسته يك جسم را با الکترولسکوپ تشخیص دهید.

الکترولسکوپ را نخست با باز منفی باردار کنید به طوری که ورقه آن انحرافی را نشان دهد. میله ابونیتی یا شانه ای را با بارچه شمی (یا پوست حیوان) مالش دهید و به آرامی به آن نزدیک کنید. انحراف ورقه بیشتر می شود. جسم میله نشسته ای را با بارچه ابریشمی مالش داده و در فاصله ۵ سانتیمتری کلاهك الکترولسکوپ نگاه دارید و به آرامی به آن نزدیک کنید. انحراف ورقه ابتدا کم می شود. میله را به تدریج به الکترولسکوپ نزدیک کنید انحراف صفر می شود و اگر جایی میله را به آن نزدیک کنید ورقه دوباره از صفحه مقابل خود دور می شود. علت را توضیح دهید.

### ۴) رسانایی و نازمانایی اجسامی را که در اختیار دارید با الکترولسکوپ تشخیص دهید.

يك سر جسمی را (یا نمونه‌ای از جسمی را) كه می‌خواهید رسانایی یا نارسانایی آن را مشخص كنید در دست بگیرید و سر دیگر آن را با الكتروسكویی كه از دیش باردار کرده‌اید تماس دهید؛ اگر انحراف ورقه الكتروسكوپ صفر شد جسم رساناست و اگر تغییر نكرد جسم نارساناست و اگر انحراف آن اندكی كم شد جسم اندكی رساناست. آزمایش را با نمونه‌های اجسام مختلف مانند ابونیت، لاک، مواد بلاستيكي، بارافن جامد، شیشه، چوب، كاغذ، میله‌های فدری كه در اخبار دارید انجام دهید و نتیجه‌هایی را كه به دست می‌آورید در جدولی مانند جدول ۱-۱ بوسید.

جدول ۱-۱

نیمه رسانا	رسانای خوب	نارسانای خوب

۵) در صورتی كه الكتروسكوپ در اختبار ندارید بادكنك كوچكي را باد کنید و آن را با نخ ابریشمی آویزان نمایید و به وسیله مالش با بارچه بشمی الكتریسته دار کنید، این بادكنك را كه دارای بار منفی می‌شود می‌توانید برای تعیین نوع الكتریسته اجسام دیگر به كار ببرید. اگر جسمی دارای بار منفی باشد و به آن نزدیک كنید بادكنك از آن دور می‌شود و اگر جسم دارای بار مثبت باشد بادكنك به آن نزدیک می‌گردد. اشیای مختلفی مانند شانه، قلم خودنویس، اشیای بلاستيكي، میله شیشه‌ای و..... را كه در اختیار دارید با بارچه بشمی مالش دهید و نوع الكتریسته آنها را با نزدیک كردن به بادكنك مشخص کرده و یادداشت نمایید، سپس همین اشیاء را با بارچه ابریشمی مالش دهید و به بادكنك نزدیک كنید و اختلافی را كه مشاهده می‌نمایید یادداشت كنید.

### به این پرسشها پاسخ دهید

۱) توضیح دهید چگونه می‌توانید به وسیله يك میله ابونیتی كه بار منفی دارد و يك میله شیشه‌ای كه بار مثبت دارد نوع بار الكتریكي قطعه‌ای از لاک را كه با پوست حیوان مالش داده شده است مشخص كنید.

۲) به كمك فرضیه الكترونی توضیح دهید:

الف- چرا وقتی يك ميله ابونیتی با پوست حیوان مالش داده می شود بار الکتریکی منفی پیدا می کند؟

ب- چرا ميله شیشه ای به وسیله مالش با پارچه پشمی بار الکتریکی مثبت پدای می کند؟  
۳) روی صفحه نارسانایی کره فلزی A در فاصله يك متری کره فلزی B که مشابه آن است قرار داده شده است. کره A دارای بار الکتریکی منفی و کره B دارای بار الکتریکی مثبت و مساوی با بار کره A است. توضیح دهید:

الف- اگر کره A را بایک نخ ابریشمی خشک به کره B وصل کنیم در وضع الکترونهاي A چه تغییری حاصل می شود؟

ب- اگر این دو کره را با يك سیم مسی به هم وصل کنیم در وضع الکترونهاي کره A چه تغییری روی خواهد داد؟

۴) الف- چگونه يك الکتروسکوپ را می توان به وسیله تماس، دارای بار الکتریکی منفی کرد؟

ب- چه عاملی سبب می شود که الکترونهاي اضافی که به کلاهك الکتروسکوپ داده می شوند به سوی ورقه طلا و صفحه مقابل آن حرکت کنند؟

۵) چگونه يك الکتروسکوپ بارداری برای تعیین نوع الکتریسته مثبت یا منفی به کار می رود؟  
۶) نتایجی را که از آزمایشهای زیر به دست می آیند بیان کنید:

الف- مبله ای از جنس ابونیت را با پارچه پشمی مالش داده به الکتروسکوپ بدون باری نزدیک و سپس از آن دور کنیم.

ب- ميله ابونیت بارداری را با کلاهك الکتروسکوپ كاملاً تماس داده - پس از آن دور می کنیم.

ج- پس از انجام آزمایش ب ميله شیشه ای بارداری را به الکتروسکوپ نزدیک می کنیم.

۷) توضیح دهید که در حالات زیر چه اتفاق می افتد:

الف- هر گاه يك ميله از جنس ابونیت را با پوست حیوان مالش دهیم،

ب- ميله ابونیتی مالش داده شده را نزدیک يك کره فلزی سه رویی بایه شیشه ای قرار دارد بگیریم،

ج- درحالی که ميله ابونیتی نزدیک کره قرار گرفته شده اس انگشت دست خود را روی کره بگذاریم و برداریم،

د- ميله را از کره دور کنیم.

توضیح دهید که چگونه از این روش برای بارداری کردن يك الکتروسکوپ با بار الکتریکی مثبت می توان استفاده کرد؟

۸) چگونه می توانید از يك الکتروسکوپ بارداری برای مرتب کردن چند ماده بر حسب

درجه قابلیت رسانایی آنها استناده کنید.

۹) ساختمان يك الكتروسكوپ را شرح دهید. يك الكتروسكوپ و يك ميله از جنس ابونيت و يك پوست حيوان در اختيار داريد. توضيح دهید چگونه می توانيد از اين وسايل برای تعيين نوع الكتریسته يك جسم باردار استفاد كنيد.

۱۰) الكتریسته القایی را تعريف كنيد. دو كره فلزی يكسان كه روی پایه های عایق نصب شده اند و يك ميله از جنس ابونيت و يك تکه پوست خز در اختيار داريد. توضيح دهید چگونه می توانيد الف) در یکی از كره ها به روش القا بار الكتریکی مثبت ایجاد كنيد.

ب) در يك كره بار مثبت و در دیگری بار منفی به مقدار مساوی ایجاد كنيد.

۱۱) الكتروفرور را شرح دهید و با رسم شكل نشان دهید چگونه می تواند بار مثبت از آن به دست آوريد.

۱۲) بار الكتریکی چگونه بر روی اجسام رسانا و نارسانا پخش می شود؟

۱۳) آیا می توان بار الكتریکی با نوع مشخصی مثلاً منفی را روی جدار داخلی يك كره فلزی تو خالی متمرکز كرد؟ اگر ممكن است چگونگی عمل را با كشیدن شكل توضيح دهید.

۱۴) آیا می توانيد بار الكتریکی مشخصی را روی سطح درونی يك لیوان شیشه ای متمرکز كنيد؟ اگر جواب مثبت است چگونگی عمل را شرح دهید و نوع بار را مشخص كنيد.

۱۵) چرا آزمایشهای الكتریسته ساكن در هوای مرطوب به خوبی صورت نمی گیرند؟

۱۶) اگر گلوله چوب پنبه ای كوچك بارداري را كه به صورت آونگ به نخي آویزان است به يك كره فلزی بدون بار الكتریکی كه روی پایه عایقی قرار دارد نزديك كنيم جذب كره می شود. چرا؟

اگر كره فلزی را با زمین ارتباط دهيم گلوله چوب پنبه ای باز هم بهتر جذب آن می شود. علت را توضيح دهید.

۱۷) چه نکاتی را باید هنگام کار كردن با الكتروسكوپ در نظر داشت؟

## پاسخ به پرسشهای متن

۱-۱) بلی. برق آسمان دو واقع جرقه بسیار بزرگی است كه بین دو توده ابر باردار (از

نوع مخالف) با بین يك توده ابر و زمین می جھد یا به اصطلاح علمی، تخلیه الكتریکی صورت می گیرد. بخشد الكتریکی بین ابر و زمین صاعقه نامیده می شود. صاعقه ممكن است به ساختمانها آسیب برساند برای جلوگیری از آسیب صاعقه، بر كنبر به كار می رود. بر كنبر مثل آهنی و لك

تیزی است که بالای ساختمان نصب می شود و قسمت پایین آن به زمین متصل می گردد. هنگامی که يك توده ابر با بار الکتریکی مثلا منفی از بالای برقگیر می گذرد نزولك آن الكتریسته مثبت و در پایین آن الكتریسته منفی القامی شود. الكتریسته منفی (یعنی الكترونها) به زمین می رود و الكتریسته مثبت با مقداری از الكتریسته منفی ابر خنثی می گردد، در نتیجه از شدت تراكم بار الکتریکی در ابر كاسته می شود و احتمال وقوع نخله الكتریکی به صورت صاعقه بین ابر و برقگیر كاهش می یابد.

۲-۱) برای این که الكتریسته ساكن تولید شده در بدنه نفكس از راه این زنجیر به زمین برود و از ایجاد جرقه و انفجار احتمالی بنزین جلوگیری شود.

۳-۱) این پدیده را می توان چنین توجیه كرد كه گلوله ها نخست جذب میله می گردند و در اثر تماس با آن الكتریسته دار شده سپس به طرف میز رانده می شوند. در اثر بر خورد با میز الكتریسته خود را از راه میز به زمین منتقل کرده و بدون بار الکتریکی می شوند و دوباره جذب میله می گردند. این عمل آن قدر ادامه می یابد تا بیشتر بار الکتریکی میله به زمین منتقل شود.

۴-۱) میله فلزی و بدن انسان هر دو رسانا هستند و در نتیجه الكتریسته ای که به وسیله مانس در میبه ایجاد می شود به زمین می رود و در آن باقی نمی ماند كه ظاهر بشود.

۵-۱) در میله ایونیتی الكتریسته منفی (یعنی الكترون) جمع می شود و این الكترونها از بارجه بنسی به میله منتقل می شوند. بنابر این در بارجه شمی بار الکتریکی مثبت تولید می شود. ۶-۱) كافی است میله فلزی به دسته عایقی وصل شود یا با قطعه بارجه ابریشمی حشك در دست گرفته شود.

۷-۱) برای این منظور است كه الكتروسكوب از اثر بارهای اضافی كه احتمالا ممكن است در هوا موجود باشند محافظت شود و بتواند بارهای الكتریکی خیلی ضعیف را آشكار سازد. ۸-۱) بلی، اگر الكتروسكوب مدرج باشد مقدار بار الکتریکی را نیز می توان اندازه گرفت. ۹-۱) الكتروسكوب را قبلا با الكتریسته مثبت یا منفی باردار می كنند سپس جسم باردار را به آن نزدیک می نمایند. اگر بار الکتریکی جسم همجنس بار الکتریکی الكتروسكوب باشد ورقه آن بیشتر منحرف می شود و اگر مخالف باشد انحراف ورقه آن كمتر می شود. مراجعه شود به «نكاتی راکه باید هنگام كار با الكتروسكوب در نظر داشت».

۱۰-۱) در كره A بار منفی و در كره B بار مثبت.

۱۱-۱) در آن سر میله كه مجاور بار منفی است الكتریسته مثبت و در سر دیگر آن الكتریسته منفی جمع می شود. زیرا الكترونهاى آزاد موجود در میله فلزی از آن سرى كه بار منفی به آن نزدیک می شود دور می گردند.

۱۲-۱) اگر در نظر بگیریم كه الكتریسته منفی از الكترونهاى تشكیل یافته است و همچنین

اگر به خاطر داشته باشیم که بارهای الکتریکی همنام یکدیگر را دفع می‌کنند، می‌توانیم تصور کنیم که الکترونهاى آزاد اضافی موجود در يك جسم چون می‌خواهند از هم دور شوند روی بزرگترین سطح ممکن، (یعنی سطح خارجی جسم) جمع می‌شوند. چون الکتریسیته مثبت هم در روی سطح خارجی جسم جمع می‌شود می‌توان گفت که الکترونها از اتمهای موجود در روی سطح خارجی جسم رمانا خارج می‌شوند.

۱-۱۳) زمین، هم رسانا و هم دارای الکترون آزاد است. وقتی الکتروسکوپ بار مثبت‌دار، به زمین متصل می‌شود تعدادی از الکترونهاى زمین را به سوی خود می‌کشد. در نتیجه بار الکتریکی مثبت آن توسط بار الکتریکی منفی موجود در الکترونها خنثی می‌شود.



## میدان الکتریکی ، پتانسیل و ظرفیت الکتریکی

ضمن مطالعه بخش الکتریسته ساکن ، دیدید اجسامی که بار الکتریکی دارند بر یکدیگر نیرو وارد می سازند . همان طور که نیروی جاذبه موجود بین اجسام يك نیروی بنیادی است که از جرم مایه می گیرد ، نیروی الکتریکی هم از « بار الکتریکی » که مانند جرم يك خاصیت بنیادی ماده است سرچشمه می گیرد . می دانیم نیروی الکتریکی که دو جسم باردار بر هم وارد می سازند ممکن است جاذبه یا دافعه باشد : اجسامی که دارای بار الکتریکی هم نوع هستند یکدیگر را می دانند و اجسامی که دارای بار الکتریکی از نوع مخالف هستند یکدیگر را می ربایند .

اجسام باردار ، چه در حال حرکت باشند و چه در حال سکون ، همواره برهم نیرو وارد می سازند ولی معمولاً هنگامی که اجسام باردار در حال سکون هستند این نیروها مورد مطالعه قرار می گیرند به همین جهت آنها را نیروهای جاذبه یا دافعه الکتروستاتیکی نامیده اند و چون نخستین بار اندازه این نیروها توسط کولن مشخص گردیده است آنها را نیروهای کولنی نیز نامیده اند .

اجسام باردار ، اگر هم از یکدیگر فاصله داشته باشند برهم نیروی جاذبه یا دافعه الکتریکی وارد می سازند ، بنابراین فرض بر این است که اطراف بار الکتریکی « میدان الکتریکی » وجود دارد . این میدان با چشم دیده نمی شود ولی واقعیت دارد . در این بخش نخست به شرح نیروی جاذبه یا دافعه کولنی و میدان الکتریکی می پردازیم سپس ، پتانسیل الکتریکی و خازنهای الکتریکی و ظرفیت آنها را مورد بحث قرار می دهیم .

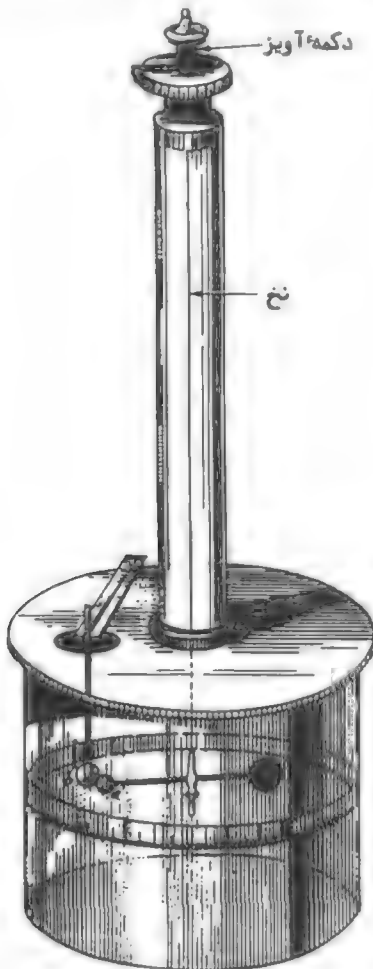
## نیروهای بین بارهای الکتریکی

بکسان داده شود، نیروی دافعه بین این دو بار - س می‌شود. ذره محرک از ذره ثابت دور شود و به افق بچرخد. جرخش میله سبب ناب خوردن - س می‌شود. در نتیجه، نیروی مقاومی در مقابل جرخش

گنشم همه مواد دارای درونی هستند که الکتریسته مثبت یا منفی دارند و به همین جهت بین آنها و مولکولهای مواد نیروهای حاذبه یا دافعه الکتریکی وجود دارد. بسیاری از خاصیت‌های ماده از نیروهای الکتریکی میان این ذرات باردار نتیجه می‌شوند. مثلاً این نیروها سهم بزرگی در پیوند بین الکترون‌ها و پروتون‌ها برای تشکیل آنها یا در ترکیب شیمیایی آنها برای تشکیل مولکول‌ها دارند. در اجسام معمولی نیروهای الکتریکی به صورت نیروهای پیوستگی یا چسبندگی بین مولکول‌ها در می‌آیند یا به صورت نیروی اصطکاک به هنگام حرکت یک جسم بر روی جسم دیگر ظاهر می‌شوند. آگاهی کامل از رابطه بین ماده و الکتریسته بستگی دارد به دانستن ماهیت واقعی نیروهای الکتریکی که دو ذره یا دو جسم باردار برهم وارد می‌سازند. در سال ۱۷۸۵ میلادی، کولن<sup>۱</sup> دانشمند فرانسوی موفق به شناختن این نیروها شد.

## آزمایشهای کولن

شکل ۲ - ۱ اسبابی را نشان می‌دهد که توسط کولن برای اندازه‌گیری نیروهای الکتریکی به کار رفته است؛ میله سبکی که از ماده نارسانا ساخته شده و به دوسر آن دو کره کوچک فلزی نصب گردیده است توسط سیم باریک و بلندی به‌طور افقی آویزان است و می‌تواند بچرخد. کره فلزی دیگری که به میله نارسانایی آویزان است نزدیک یکی از کره‌های دوسر میله قرار می‌گیرد و در جای خود ثابت است. هر گاه به



شکل ۲-۱ - دستگاه آزمایش کولن

میله پدید می آید که هرچه تاب بیشتر باشد این نیرو بزرگتر است. آزمایش نشان داده است که اندازه تاب يك سیم متناسب با نیرویی است که سبب تاب خوردن آن می شود. اگر از ابتدا زاویه های تاب سیم به ازای نیروهای دانسته ای اندازه گرفته شود نیروی مجهولی که سبب تاب زاویه معینی می شود به آسانی تعیین می گردد. به خاطر داشته باشید که دو کره مورد بحث ماکوچک هستند و بار الکتریکی روی هریک از آنها در حکم باری است که در یک نقطه متمرکز شده است و به همین جهت به آن بار الکتریکی نقطه ای نیز می گویند. در اسباب کولن به دو کره مجاور هم دوبار الکتریکی همنام داده می شود و زاویه تاب سیم که در اثر نیروی دافعه بین این دوبار به وجود می آید روی درجه بندی که در پایین اسباب است خوانده می شود. با همین روش می توان نیروهای جاذبه بین دوبار غیر همنام را نیز اندازه گرفت.

کولن آزمایشهای خود را در دو مرحله انجام داد: در مرحله نخست به دو کره ساکن و متحرك بارهای الکتریکی یکسان (مساوی و همنام) داد و نیروی دافعه بین آنها را در فاصله های مختلف اندازه گیری کرد و نتیجه گرفت که این نیرو به نسبت عکس مجذور فاصله دوبار الکتریکی تغییر می کند. یعنی وقتی که فاصله دوبار الکتریکی دو برابر می شود نیروی بین آنها به  $\frac{1}{4}$  یا  $\frac{1}{2^2}$  مقدار اولیه اش می رسد و هنگامی که فاصله بین دوبار الکتریکی سه برابر می شود نیرو  $\frac{1}{9}$  یا  $\frac{1}{3^2}$  اندازه نخستین خود می گردد. در مرحله دوم، کولن يك سری بارهای دانسته متفاوت به دو کره داد و نیروهای بین آنها را در فاصله ثابت اندازه گیری کرد و نتیجه گرفت که نیروی

جاذبه یا دافعه ای که میان دوبار الکتریکی روی کره ها به وجود می آید مستقیماً متناسب با اندازه بار الکتریکی روی هریک از کره ها و در نتیجه متناسب با حاصل ضرب آنهاست.

**پرسش ۱-۲** اگر اندازه بار الکتریکی روی هریک از کره ها دو برابر شود نیروی بین آنها چند برابر خواهد شد؟

**قانون کولن** - نتایج تجربی بالا به نام قانون کولن به صورت زیر بیان می شود:

نیروی جاذبه یا دافعه بین دوبار الکتریکی نقطه ای متناسب با حاصل ضرب بارهاست و نسبت معکوسی با مجذور فاصله میان دوبار دارد.

اگر دوبار الکتریکی را به  $q_1$  و  $q_2$  فاصله بین آنها را به  $r$  و نیرو را به  $F$  نمایش دهیم قانون کولن به صورت رابطه ریاضی زیر نوشته می شود:

$$F \propto \frac{q_1 \cdot q_2}{r^2}$$

رابطه بالا به صورت تناسب است و می توان آن را به صورت معادله زیر نوشت:

$$F = k \frac{q_1 q_2}{r^2} \quad (1-2)$$

این رابطه در مواردی بکار می رود که ابعاد دو جسم باردار خیلی کوچک باشند به طوری که بتوان آنها را در حکم «نقطه باردار» دانست و یا این که دو جسم باردار دو کره باشند که بار الکتریکی به طور یکنواخت روی آنها پخش شده باشد (در صورتی که دو جسم کروی باشند  $r$  فاصله بین دو مرکز آنهاست). اگر این اجسام بزرگ و به هم نزدیک باشند،

$$r = 1 \text{ km} = 1000 \text{ m} = 10^3 \text{ m}$$

$$F = 9/0 \times 10^9 \times \frac{q \cdot q}{r^2} = 9/0 \times 10^9 \times$$

$$\frac{1 \times 1}{(10^3)^2} = 9/0 \times 10^2 = 9000 \text{ N}$$

علامت نیرو مثبت است و نشان می‌دهد که نیرو دافعه است. این مثال نشان می‌دهد که يك كولن بار الکتریکی بسیار بزرگی است. در اینجا دوبار الکتریکی يك كولنی به فاصله يك کیلومتر از هم قرار دارند و یکدیگر را با نیروی ۹۰۰۰ نیوتن (که بیش از ۹۰۰ کیلوگرم نیرو است) می‌رانند. بارهای ساکن معمولاً خیلی کمتر از يك كولن هستند.

**پوشش ۲-۲-** به نظر شما، آیا قانون كولن دربارهٔ دو جسم بزرگ باردار نزدیک به هم نیز صادق است؟

**پوشش ۳-۲-** بنابه قانون عمل و عکس العمل نیروهایی که دو جسم باردار بزرگ دیگر وارد می‌سازند، چه جاذبه و چه دافعه همواره برابر و در خلاف جهت یکدیگرند. آیا برابر بودن اندازه این دو نیرو مستلزم برابر بودن بارهای الکتریکی دو جسم است؟

اندازه گیری نیرو معمولاً در هوا صورت می‌گیرد و می‌توان برای K در هوا نیز همین مقدار را در نظر گرفت. چنین متداول است که K را به صورت

$$\frac{1}{4\pi\epsilon_0}$$

که «قابلیت گزدهی» فضای آزاد یا خلا» نامیده

$$K = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}$$

شکل و ابعاد آنها، هم چنین چگونگی توزیع بار الکتریکی در آنها نیز در اندازه نیرو مؤثر است. علاوه بر این جنس محیطی که اجسام در آن قرار دارند و یا ماده‌ای که بین دو جسم قرار می‌گیرد در اندازه نیرو نقش مؤثری دارد.

K خربیی است که بستگی به واحدهای انتخاب شده و جنس محیطی دارد که دو جسم باردار در آن قرار گرفته‌اند. اگر اندازه گیری نیرو در خلا صورت گیرد اندازه K در دستگاه بین المللی واحدها که در آن F بر حسب نیوتن و q بر حسب كولن<sup>۱</sup> (با علامت اختصاری C) و r بر حسب متر است تقریباً برابر است با:

$$K \approx 9/0 \times 10^9 \frac{\text{N} \cdot \text{m}^2}{\text{C}^2} \quad (2-2)$$

بنابراین

$$F_{(N)} = 9/0 \times 10^9 \frac{q \cdot q' \text{ (C)}^2}{r^2 \text{ (m}^2\text{)}} \quad (3-2)$$

اگر به هنگام کار بردن این معادله بار مثبت را با علامت مثبت و بار منفی را با علامت منفی منظور داریم نیروی دافعه بین دو بار همنام با علامت مثبت و نیروی جاذبه بین دو بار غیر همنام با علامت منفی در نظر گرفته می‌شود.

**مثال -** نیروی بین دو بار الکتریکی مثبت، هریک برابر يك كولن، وقتی که فاصله بین آنها يك کیلومتر باشد چه اندازه است؟

$$q = 1 \text{ C} = q'$$

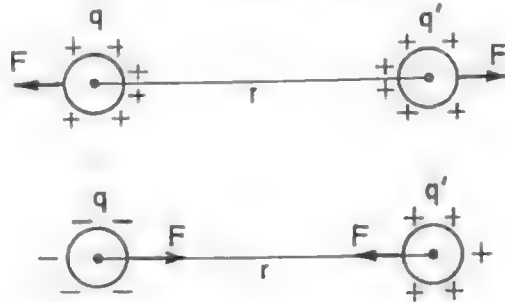
داریم:

۱- تعریف علمی كولن را در بخش ۳ خواهید دید.

بدست می‌آید.

$$\epsilon_0 \approx 8.85 \times 10^{-12} \frac{C^2}{N.m^2} \quad (2-2)$$

از رابطه (2-3) فقط اندازه نیروی کولنی به دست می‌آید. راستای این نیرو همواره در امتداد خطی است که دو جسم را به هم وصل می‌کند (اگر دو جسم کروی باشند در امتداد خطی است که دو مرکز آنها را به هم وصل می‌نماید) و جهت آن بستگی به نوع بارهای الکتریکی دو جسم دارد و چنان که گنتیم بارهای هم نوع یکدیگر را دفع و بارهای غیر هم نوع یکدیگر را جذب می‌کنند شکل (2-2).



شکل 2-3- بارهای هم نوع یکدیگر را دفع و بارهای غیر هم نوع یکدیگر را جذب می‌کنند.

## میدان الکتریکی

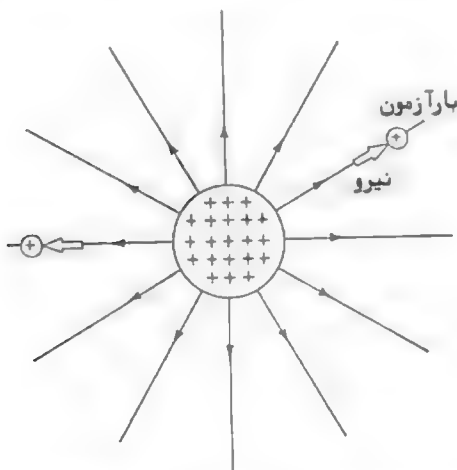
جسمی که دارای بار الکتریکی است بر روی تمام اجسام باردار دیگری که در اطراف آن قرار دارند نیرو وارد می‌کند. برای توصیف این واقعیت در فضای اطراف یک جسم باردار میدان نیرو در نظر گرفته می‌شود که آن را میدان الکتریکی می‌نامند.

میدان الکتریکی دارای این خاصیت مهم است که بهرجسم باردار الکتریکی که در آن قرارگیرد نیرو وارد می‌سازد.

برای این که میدان الکتریکی را در اطراف یک جسم باردار بررسی کنند جسم کوچکی را که بار مثبت دارد و ما آن را بار آزمون می‌نامیم، در نقاط مختلف اطراف جسم باردار قرار می‌دهند و نیروی وارد بر آن را اندازه می‌گیرند. به این ترتیب ممکن است وضع نیروهایی که در همه نقاط میدان الکتریکی بر روی بار آزمون وارد می‌شود مشخص گردد.

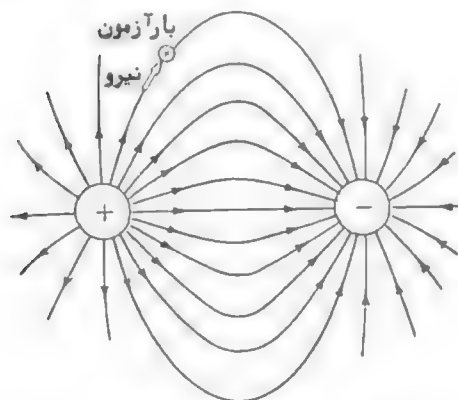
میدان الکتریکی را می‌توان با خطوط نیروی الکتریکی نمایش داد. هر خط نیرو در میدان الکتریکی طوری رسم می‌شود که جهت آن در هر نقطه جهت میدان الکتریکی را نشان می‌دهد.

جهت میدان الکتریکی در هر نقطه از میدان هم جهت با نیرویی است که بر بار مثبت آزمون واقع

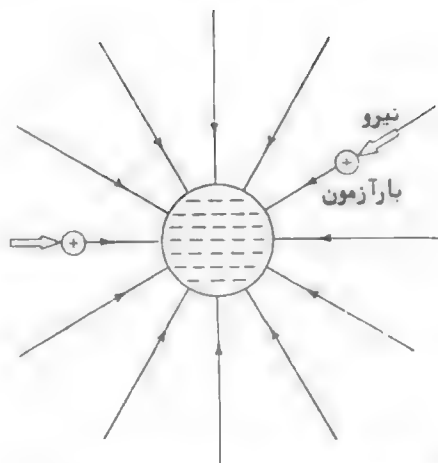


شکل 2-4- خطوط نیروی اطراف یک کره که بار مثبت دارد

بار الکتریکی همنام و دو بار الکتریکی غیر همنام را نشان می‌دهند .



شکل ۲-۶- خطوط نیروی اطراف دو بار غیر همنام

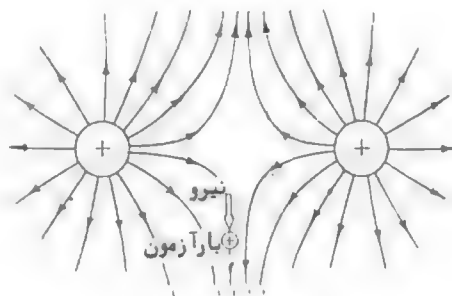


شکل ۲-۴- خطوط نیروی اطراف یک کره که بار منفی دارد

در آن نقطه وارد می‌شود . دو شکل ۲-۳ و ۲-۴ وضع خطوط نیروی الکتریکی را در اطراف دو جسم کروی که دارای بار الکتریکی مثبت و منفی هستند نشان می‌دهد .

**پرسش ۲-۴-** اگر بار الکتریکی مثبت آزمون در میدان هر یک از دو جسم باردار قرار گیرد و بتواند آزادانه حرکت کند راستا و جهت حرکت آن چگونه است ؟

شکلهای ۲-۵ و ۲-۶ وضع خطوط نیرو بین دو

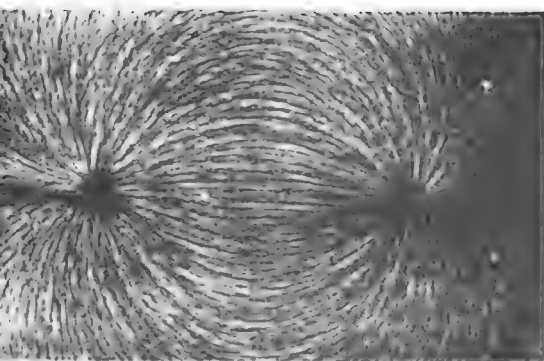


شکل ۲-۵- خطوط نیروی اطراف دو بار همنام

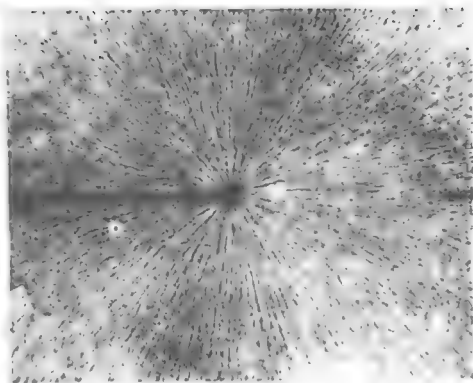
شکلهای (۲-۷- الفسبیبت) نمونه‌های عکس برداری شده از خطوط میدان را که به وسیله پاره نخهای کوچک و باریک معلق در یک روشن تشکیل شده‌اند نشان می‌دهد .

وجود میدان الکتریکی سبب می‌شود که در دوسر هر پاره نخ دو بار الکتریکی مخالف القا شود و در نتیجه ، پاره نخها به دنبال یکدیگر در امتداد خطوط میدان قرار گیرند .

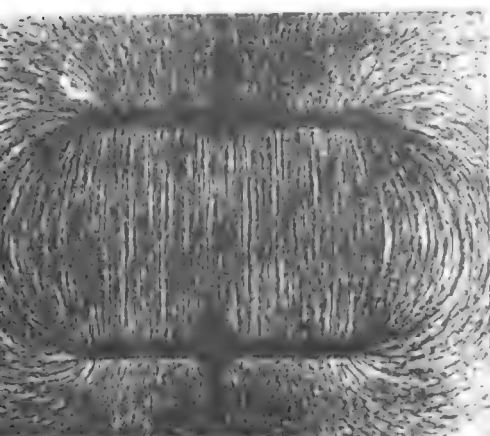
بنابر نظریه‌های موجود ، دو بار الکتریکی مستقیماً بر یکدیگر نیرو وارد نمی‌کنند بلکه این نیرو به وسیله میدانهای الکتریکی بر بارها اعمال می‌شود ، به این معنی که ، میدان الکتریکی حاصل از بار الکتریکی اولی بر روی بار دومی نیرو وارد می‌کند و با وجه مشابهی میدان حاصل از بار الکتریکی دومی هم بر روی بار اولی نیرویی مساوی و در خلاف جهت نیروی اولی وارد می‌سازد .



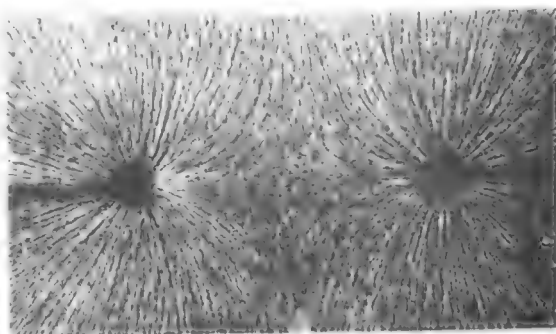
ب - میدان الکتریکی حاصل از دو بار الکتریکی هم‌نام



ا - میدان حاصل از یک بار الکتریکی منفرد



ت - میدان یکتراحت



ج - میدان الکتریکی حاصل از دو بار الکتریکی هم‌نام

بین دو صفحه موازی که دارای بار الکتریکی مخالف هستند.

شکل ۷-۲- نمایش واقعی از خطوط میدان الکتریکی

الکتریکی در آن نقطه برابر خواهد بود با:

$$E = \frac{F}{q'} \quad (۷-۲)$$

پرسش ۷-۵- چگونه می‌توان این رابطه را

از قانون کولن نتیجه گرفت ؟

واحد شدت میدان الکتریکی در دستگاه واحدهای

بین المللی (نیوتن /  $\frac{N}{C}$ ) است ، زیرا در این کولن

## شدت میدان الکتریکی

نیرویی که در یک میدان الکتریکی بر روی

واحد بار مثبت الکتریکی ، واقع در هر نقطه از این

میدان ، وارد می‌شود شدت میدان الکتریکی در آن

نقطه نام دارد و به  $E$  نمایش داده می‌شود. سایر این

اثر بار مثبت  $q$  در یک نقطه معین از میدان الکتریکی

واقع شود و بر آن نیروی  $F$  اثر کند شدت میدان



دستگاه واحد نیرو-نیوتن و واحد مقدار الکتریسیته، کولن است.

**مثال -** در یک میدان الکتریکی نیرویی برابر  $۰/۲$  نیوتن برابر بار الکتریکی مثبت برابر  $۵-۱۰$  کولن که در نقطه‌ای از این میدان قرار دارد وارد می‌شود. اندازه شدت میدان الکتریکی در این نقطه چیست؟

در اینجا:  $F = ۰/۲ \text{ N}$

و  $q = +۱۰-۵ \text{ C}$

بنابراین

$$E = \frac{F}{q} = \frac{۰/۲(\text{N})}{۱۰-۵(\text{C})} = ۲ \times ۱۰^۴ \left( \frac{\text{N}}{\text{C}} \right)$$

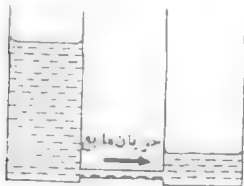
**پرسش ۲-۶ -** در مثال بالا اگر به جای بار الکتریکی مثبت، بار منفی که اندازه آن نصف بار مثبت است در همان نقطه قرار داده شود چه نیرویی بر آن وارد می‌شود؟

شدت میدان الکتریکی مانند نیرو و کمیت برداری است که دارای اندازه و جهت و راستای  $E$  و  $F$  همواره یکی است ولی نیروی وارد بر بار

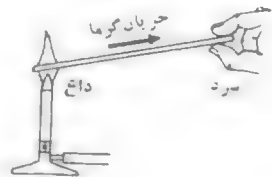
مثبت هم جهت با میدان و نیروی وارد بر بار منفی در خلاف جهت میدان است.

### اختلاف پتانسیل الکتریکی

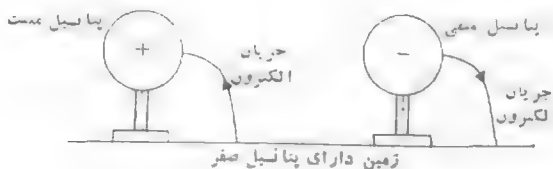
دیدیم وقتی یک جسم رسانا که بار الکتریکی منفی دارد به زمین متصل می‌شود الکترونها (یعنی بارهای منفی) از آن جسم به زمین می‌روند همچنین اگر یک جسم رسانا که بار الکتریکی مثبت دارد به زمین اتصال پیدا کند تعدادی الکترون از زمین به جسم منتقل می‌شود. حرکت الکترونها، با به عبارت دیگر انتقال الکتریسیته، به این علت صورت می‌گیرد که بین جسم رسانا و زمین اختلاف پتانسیل وجود دارد. بنابراین می‌توان اختلاف پتانسیل را عامل یا شرط الکتریکی دانست که سبب جاری شدن الکتریسیته از نقطه‌ای به نقطه دیگر می‌شود. با توجه به این واقعیت، می‌توان اختلاف پتانسیل را با اختلاف دما که سبب انتقال گرما در یک جسم می‌شود یا با اختلاف فشار مابین دو ظرف به هم پیوسته که سبب جاری



ب- اختلاف فشار مابین دو ظرف منتهی به جاری شدن مایع می‌شود.



الف- اختلاف دما سبب انتقال گرما می‌شود.



ج- اختلاف پتانسیل سبب جاری شدن الکتریسیته می‌شود.

**شکل ۲-۱ -** مقایسه اختلاف پتانسیل با اختلاف دما و اختلاف فشار در مایع.

شدن مایع بین دو ظرف می گردد مقایسه کرد (شکل ۲-۸). همان طور که اختلاف دما جهت انتقال گرما را در یک جسم مشخص می کند یا اختلاف تشار مایع جهت حرکت مایع را مشخص می نماید اختلاف پتانسیل الکتریکی هم حاکم بر جهت جریان یافتن الکتریسته است.

### زمین به عنوان پتانسیل الکتریکی صفر-

در اندازه گیریهای پتانسیل الکتریکی لازم است که مبدأ مقایسه مناسبی با پتانسیل الکتریکی صفر، انتخاب شود. درست به همان گونه که در اندازه گیری دما، نقطه ذوب یخ به عنوان صفر قبول شده است. در عدل، زمین را به عنوان مبدأ مقایسه ای که پتانسیل الکتریکی آن صفر است انتخاب کرده اند.

این انتخاب در واقع برای آسانی کار صورت گرفته است و معنایش این نیست که زمین دارای بار الکتریکی نیست همان طور که نمی توان گفت یخ صفر درجه دارای انرژی داخلی نیست. در حقیقت زمین دارای بار منفی است ولی اندازه آن به قدری زیاد است که دادن مقداری بار الکتریکی به زمین یا گرفتن از آن تأثیر محسوسی در بار الکتریکی آن نخواهد داشت.

**تذکره -** همان طور که برای دما صفر مطلق در نظر گرفته می شود برای پتانسیل الکتریکی هم صفر مطلق پتانسیل منظور می گردد و آن پتانسیل نقاط واقع در بی نهایت است.

### پتانسیل الکتریکی یک جسم باردار

پتانسیل اجسام باردار را معمولاً نسبت به زمین

می سنجند و در این سنجش پتانسیل زمین را بنابر قرارداد صفر می گیرند. هنگامی که یک جسم باردار به وسیله یک رشته سیم به زمین متصل می شود (شکل ۲-۸-ج) اگر الکترونها از زمین به سوی جسم جریان یابند پتانسیل جسم مثبت است برعکس اگر در این ارتباط الکتریکی الکترونها از جسم به زمین بروند پتانسیل جسم منفی است. بنابراین اجسام باردار پیش از ارتباط الکتریکی با زمین چه پتانسیل مثبت داشته باشند چه پتانسیل منفی، پس از اتصال به زمین پتانسیل آنها صفر می شود.

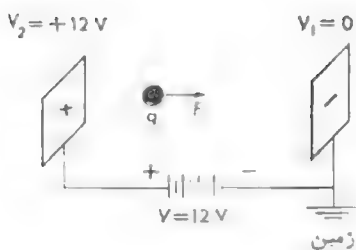
**پروش ۲-۷-** وقتی که دو جسم باردار با یک رشته سیم به هم متصل می شوند، آیا جهت جریان الکترونها همیشه از جسمی که الکتریسته بیشتر دارد به طرف جسمی است که الکتریسته کمتر دارد ؟

**پروش ۲-۸-** در بخش ۱ دیدید که چگالی سطحی الکتریکی در نقاط برجسته یک جسم رسانای باردار بیشتر است. آیا پتانسیل الکتریکی این نقاط نیز بیشتر است ؟

**اندازه پتانسیل الکتریکی -** پتانسیل الکتریکی یک جسم باردار، که آن را به  $V$  نمایش می دهیم، بنا به تعریف عبارت است از کاری که باید انجام گیرد تا واحد بار الکتریکی مثبت از زمین به جسم انتقال یابد و واحد آن ولت<sup>۱</sup> است. بنابراین اگر برای انتقال بار مثبت  $q$  کار لازم باشد پتانسیل جسم از رابطه زیر حساب می شود :

$$V = \frac{W}{q} \quad \begin{matrix} \text{(ژول)} \\ \text{(کولن)} \end{matrix} \quad (2-6)$$

۱- تعریف کامل ولت را در بخش ۳ خواهید دید.



شکل ۹-۲- وقتی ما بار الکتریکی  $q$  از یک نقطه به نقطه دیگر که بین آنها اختلاف پتانسیل  $v$  موجود است انتقال می‌دهیم انرژی  $vq$  مصرف یا آزاد می‌شود

بار الکتریکی را از  $V_1$  به  $V_2$  برگردانیم انرژی  $vq$  آزاد خواهد شد.

پرش ۱-۲- اگر بخواهیم بار مثبت  $q$  را از  $V_1$  به  $V_2$  یا برعکس انتقال دهیم انرژی چگونه مصرف یا آزاد خواهد شد؟

در این مثال اگر  $V_1$  و  $V_2$  بایک رشته سیم به هم متصل شوند الکترون‌ها به سوی  $V_2$  جریان می‌یابند و انرژی آزاد شده به گرما تبدیل می‌شود.

پرش ۲-۱۱- اگر یک الکترون که بار الکتریکی آن در حدود  $1.6 \times 10^{-19}$  e کولن است از نقطه A به نقطه B که اختلاف پتانسیل میان آن دو نقطه یک ولت است برود کار حاصل از انتقال آن چند ژول است؟

میدان الکتریکی یکنواخت در بسیاری از آزمایش‌هایی که به منظور بررسی ساختمان اتم انجام می‌گیرد، لازم است که ذرات باردار را از یک میدان الکتریکی یکنواخت عبور دهند و رفتار ذرات را در این میدان مشاهده کنند. میدان یکنواخت میدانی است که در حجم محدودی از فضا شدت و جهت آن ثابت باشد. برای ایجاد چنین میدانی می‌توانیم دو صفحه فلزی

پرش ۲-۹- بنا به قانون بقای انرژی، کاری که برای انتقال بار  $q$  انجام می‌گیرد چه می‌شود؟

اختلاف پتانسیل بین دو جسم باردار - اختلاف پتانسیل بین دو جسم باردار که پتانسیل آنها  $V_1$  و  $V_2$  است بنا به تعریف عبارت است از انرژی که باید مصرف شود تا واحد بار الکتریکی مثبت از یک جسم به جسم دیگر جریان یابد. اگر این اختلاف پتانسیل را نیز به  $V$  نمایش دهیم بنا به این تعریف خواهیم داشت.

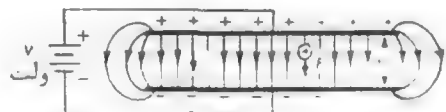
$$V = V_2 - V_1 \quad (2-2)$$

مثلا وقتی که می‌گوئیم اختلاف پتانسیل میان دو قطب یک باتری اتومبیل ۱۲ ولت است بدین معنی است که برای انتقال واحد بار الکتریکی (یعنی یک کولن) از یک قطب به قطب دیگر ۱۲ ژول انرژی مصرف یا آزاد می‌شود اگر قطب منفی این باتری راه زمین وصل کنیم پتانسیل آن صفر و پتانسیل قطب مثبت ۱۲+ ولت می‌شود. برعکس اگر قطب مثبت باتری راه زمین متصل سازیم پتانسیل این قطب صفر و پتانسیل قطب منفی ۱۲- ولت می‌گردد. بنابراین اختلاف میان دو قطب در هر حال ثابت برابر ۱۲ ولت ثابت می‌ماند.

در نظر بگیریم که دو قطب چنین باتری ۱۲ ولتی را مطابق شکل (۲-۹) به دو صفحه فلزی  $V_1$  و  $V_2$  وصل کرده ایم. اگر صفحه  $V_1$  را که دارای پتانسیل منفی است به زمین وصل کنیم پتانسیل آن صفر می‌گردد و پتانسیل صفحه  $V_2$  در ۱۲+ ولت نگاه داشته می‌شود. اگر بخواهیم در این حالت بار منفی  $q$  را از  $V_2$  به  $V_1$  انتقال دهیم باید به اندازه  $W = vq$  انرژی مصرف کنیم، برعکس اگر همین

را که مطابق شکل (۲-۱۰) مقابل یکدیگر به طور موازی قرار داده می‌شوند به دو قطب یک باتری متعلق کنیم. در این صورت در فضای بین دو صفحه میدان الکتریکی یکنواختی ایجاد می‌شود. ولی در فضای بیرون دو صفحه و در مجاورت لبه صفحه‌ها به طوری که در شکل دیده می‌شود میدان یکنواخت نیست.

فرض کنید می‌خواهیم بار مثبت  $+q$  را از صفحه بالایی به صفحه پایینی منتقل کنیم. انرژی لازم



شکل ۲-۱۰- میدان الکتریکی میان دو صفحه موازی باردار یکنواخت است.

برای انجام این کار، چنان که می‌دانیم<sup>۱</sup> برابر حاصل ضرب نیرو در تغییر مکان است یعنی:  $W = Fd$ . برای بدست آوردن هم ارزش الکتریکی این معادله کافی است روابط  $W = Vq$  و  $F = qE$  را به کار ببریم بنابراین اگر در رابطه  $W = Fd$  به جای  $W$  و  $F$  معادله آنها را قرار دهیم خواهیم داشت:

$$Vq = qEd$$

یا:

$$E = \frac{V}{d} \quad (۲-۸)$$

که در آن  $V$  اختلاف پتانسیل میان دو صفحه بر-

حسب ولت و  $d$  فاصله دو صفحه بر حسب متر و  $E$  شدت میدان بر حسب  $\frac{\text{ولت}}{\text{متر}}$  است. با توجه به واحد شدت میدان الکتریکی که قبلاً تعریف شد خواهیم داشت:

$$(۲-۹) \quad ۱ \frac{\text{نیوتن}}{\text{کولن}} = ۱ \frac{\text{ولت}}{\text{متر}}$$

مثال- بین دو صفحه موازی که به فاصله  $۲/۰$  سانتیمتر از یکدیگر قرار دارند اختلاف پتانسیل  $۱۰۰۰$  ولت برقرار شده است.

الف- شدت میدان الکتریکی بین دو صفحه را حساب کنید.

بد اگر یک پروتون با بار مثبت:

$۱۰^{-۱۹} \times ۱/۶۰۲ \text{ C}$  بین این دو صفحه قرار گیرد چه نیروی بر آن وارد می‌شود؟

- معادله داده شده عبارتند از:  $d = ۰/۰۲۰ \text{ m}$

$$V = ۱۰۰۰ \text{ V} \quad \text{و} \quad q = ۱/۶۰۲ \times ۱۰^{-۱۹} \text{ C}$$

الف:

$$E = \frac{V}{d} = \frac{۱۰۰۰ \text{ V}}{۰/۰۲۰ \text{ m}} = ۵۰۰۰۰ \frac{\text{V}}{\text{m}} = ۵۰۰۰۰ \frac{\text{N}}{\text{C}}$$

ب:

$$F = Eq = ۵۰۰۰۰ \frac{\text{V}}{\text{m}} \times ۱/۶۰۲ \times ۱۰^{-۱۹} \text{ C} = ۸/۰۱ \times ۱۰^{-۱۵} \text{ N}$$

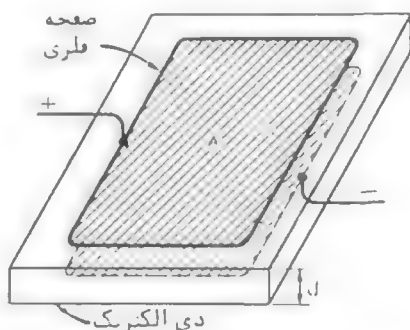
۱- به بخش کار و انرژی کتاب فیزیک سال اول مراجعه کنید.

۳- دی الکتریک مناسب بین صفحه‌ها قرار داد؛ مثلاً اگر صفحه‌های خازن کوچک و فاصله آنها از هم زیاد باشد ظرفیت الکتریکی خازن کم است برعکس اگر سطح این صفحه‌ها بزرگ و فاصله آنها از هم کم باشد ظرفیت خازن زیاد خواهد بود.

اساس کار خازن - اساس کار يك خازن در شكل (۲-۱۲) مجسم شده است؛ دو صفحه فلزی که روی پایه عایق نصب شده‌اند مقابل هم قرار دارند و خازنی را تشکیل می‌دهند. یکی از این دو صفحه به زمین وصل شده است و صفحه دیگر با يك رشته سیم به يك الكتروسکپ یا يك الكترومتر متصل است. اگر به صفحه سمت راست، که از لحاظ الکتریکی منفرد است، مقداری بار منفی بدهیم الکترونها از صفحه مقابل به طرف زمین رانده می‌شوند و این صفحه همان مقدار بار مثبت پیدامی‌کند. اگر برعکس به صفحه سمت راست مقداری بار مثبت بدهیم (این کار در شکل نشان داده نشده است). الکترونها از زمین به طرف صفحه سمت چپ کشیده می‌شوند و این صفحه دارای بار منفی می‌شود در هر دو حالت، صفحه متصل به زمین، پنا به قرار داد،

خازن اسباب الکتریکی است که برای ذخیره کردن يك مقدار الکتریسته به کار می‌رود، به همان گونه که يك مخزن آب برای ذخیره کردن مقداری آب و یا يك کپسول گاز برای انباشتن مقداری گاز مورد استفاده قرار می‌گیرد.

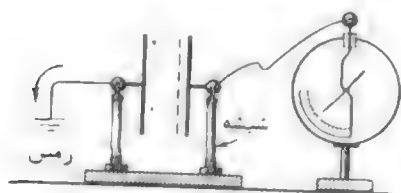
خازن را می‌توان به شکل‌های مختلف ساخت. متداولترین نوع آن خازن مسطح است. این نوع خازن از دو صفحه فلزی موازی که بین آنها عایقی به نام دی الکتریک قرار دارد تشکیل شده است و شکل (۲-۱۱) طرح ساده آن را نشان می‌دهد. این صفحه‌ها



شکل ۱۱-۲- طرح ساده‌ای از قسمت‌های اصلی يك خازن.

سطح نسبتاً بزرگی دارند و خیلی نزدیک به هم قرار داده می‌شوند. دی الکتریک‌های معمولی عبارتند از هوا، شیشه، میکا، روغن معدنی و کاغذ آغشته به روغن. برای این که قابلیت خازن در ذخیره کردن مقدار الکتریسته افزایش یابد به عبارت دیگر برای این که ظرفیت الکتریکی خازن زیاد شود می‌توان تغییرات زیر را در ساختمان آن داد:

- ۱- سطح صفحه‌های فلزی را افزایش داد.
- ۲- فاصله صفحه‌ها را کم کرد.



شکل (۲-۱۲) طرح ساده‌ای از اصول کار يك خازن

دارای پتانسیل صفر است ولی صفحه منفرد در حالت اول دارای پتانسیل منفی و در حالت دوم دارای

پتانسیل مثبت است. در این صورت می‌گوییم خازن «پر» یا «شارژ» شده است. برای برگردن يك خازن می‌توان مستقیماً دو صفحه آن را به دو قطب يك باتری وصل کرد. در این صورت صفحه‌ای که به قطب مثبت باتری متصل می‌شود دارای بار مثبت و صفحه‌ای که به قطب منفی باتری وصل می‌گردد دارای بار منفی خواهد شد.

اگر دو صفحه خازن پر شده را با يك سیم به هم وصل کنیم الکترون‌ها از صفحه‌ای که بار منفی دارد به صفحه دیگر که دارای بار مثبت است می‌روند. بنابراین بارهای الکتریکی مثبت و منفی يك ديگر را خنثی می‌کنند و خازن «تخلیه» یا «شارژ» می‌شود. عمل تخلیه خازن معمولاً با جرقه و صدا همراه است.

در شکل (۲-۱۲) هرچه بیشتر الکترون به صفحه سمت راست داده شود اختلاف پتانسیل میان دو صفحه زیادتر می‌شود ولی بیشترین مقدار باری که می‌توان روی دو صفحه خازن ذخیره کرد بستگی به جنس عایق میان آنها دارد. اگر مقدار بار از حد معینی بگذرد بین دو صفحه جرقه می‌زند و خازن خالی می‌شود.

پرش ۲-۱۲- وقتی که يك خازن توسط دستگاه مولد الکتریسته پرمی‌شود اختلاف پتانسیل میان دو صفحه آن از چه حدی نمی‌تواند بیشتر شود؟

ظرفیت خازن- ظرفیت يك خازن یا «کاپاسیتانس» که آن را به C نمایش می‌دهند به این تعریف عبارتست از خارج قسمت بار الکتریکی q ذخیره شده روی

هر يك از صفحات خازن بر اختلاف پتانسیل V میان دو صفحه آن. به عبارت دیگر ظرفیت خازن برابر است با مقدار بار الکتریکی که باید روی یکی از صفحه‌های خازن جمع شود تا پتانسیل آن نسبت به صفحه دیگر به اندازه يك ولت افزایش یابد. بنابراین تعریف بالا، خواهیم داشت:

$$C = \frac{q}{V} \quad (2-10)$$

واحد ظرفیت به افتخار میشل فارادی، فاراد نامیده می‌شود و علامت اختصاری آن F است. يك فاراد ظرفیت خازنی است که اگر روی هر يك از صفحات آن بار الکتریکی معادل يك کولن ذخیره شود اختلاف پتانسیل میان دو صفحه آن يك ولت باشد:

$$1F = \frac{1C}{1V} \quad (2-11)$$

فاراد واحد بسیار بزرگی است و در کارهای عملی مورد استفاده قرار نمی‌گیرد. در عمل معمولاً واحدهای زیر را به کار می‌برند.

میکروفاراد (μF) برابر ۱۰<sup>-۶</sup> فاراد

نانوفاراد (nF) برابر ۱۰<sup>-۹</sup> فاراد

پیکوفاراد (pF) برابر ۱۰<sup>-۱۲</sup> فاراد

محاسبه ظرفیت خازن مسطح- ظرفیت خازن مسطح به طور کلی از رابطه زیر حساب می‌شود:

$$C = \epsilon \frac{A}{d} \quad (2-12)$$

که در آن A سطح مقابل هم هریک از دو صفحه خازن بر حسب متر مربع، d فاصله بین دو صفحه بر حسب متر (به شکل ۱۱-۲ مراجعه کنید)، C ظرفیت خازن بر حسب فاراد و ε (حرف لاتینی با تلفظ اسیلون) ضریب ثابتی است که بستگی به عایق بین دو صفحه دارد و در واقع قابلیت گذردهی دی الکتریک بین دو صفحه است. اندازه ε برابر است با حاصل ضرب قابلیت گذردهی خلا<sup>۱</sup> (یعنی:

$$\frac{C^0}{N.m^2} = 8.85 \times 10^{-12} \text{ } (\epsilon_0 = 8.85 \times 10^{-12}) \text{ در يك مقدار ثابت}$$

K به نام ثابت دی الکتریک<sup>۲</sup> که معرف نوع دی الکتریک است یعنی:

$$\epsilon = \epsilon_0 K \quad (13-2)$$

بنابراین:

$$C = \epsilon_0 K \frac{A}{d} \quad (14-2)$$

برای خلا<sup>۱</sup> (و تقریباً برای هوا) K=۱ است بنابراین اگر بین صفحات يك خازن مسطح خلا<sup>۱</sup> یا هوا باشد ظرفیت آن برابر است با:

$$C_0 = \epsilon_0 \frac{A}{d} \quad (15-2)$$

و از مقایسه این رابطه با رابطه (۱۴-۲) نتیجه می شود:

$$K = \frac{C}{C_0} \quad (16-2)$$

چون C همواره بزرگتر از C<sub>۰</sub> است، ثابت دی الکتریک

همه دی الکتریک ها از يك بزرگتر است: و جدول ۱-۲ ثابت دی الکتریک چند جسم عایق برای مقایسه داده شده است:

نوع دی الکتریک	K	نوع دی الکتریک	K
خلا <sup>۱</sup>	۱/۰۰۰۰	آب عالى	۸۱
هوا	۱/۰۰۰۰۶	بنزن	۲/۲۸
پك	۱۰ تا ۱۵	گلیسرین	۵۶
کالوچر	۲ تا ۲۵	روغن معدنی	۲/۲
پك	۶ تا ۲۰		

مثال- دو ورقه نازك قلع به شكل مستطیل به ابعاد ۲۰ در ۲۵ سانتیمتر به دو طرف يك ورقه میكا به ضخامت ۰/۱۰ میلیمتر چسبانده شده و مجموعاً خازن مسطحی را تشکیل داده اند. ظرفیت این خازن را حساب کنید. ثابت دی الکتریک میكا ۵ است. داریم:

$$C = \epsilon_0 K \frac{A}{d} = 8.85 \times 10^{-12} K \frac{A}{d}$$

به ازاء  $A = 0.20 \times 0.25 = 0.05 m^2$  و  $d = 1.0 \times 10^{-2} m$  و  $K = 5$  خواهیم داشت:

$$C = 8.85 \times 10^{-12} \times 5 \times \frac{0.05}{1.0 \times 10^{-2}} \\ \approx 2.2 \times 10^{-8} F = 0.22 \mu F$$

انرژی خازن پر شده- برای پر کردن يك خازن همواره مقداری انرژی مصرف می شود که در خازن پر شده ذخیره می گردد. وقتی که دو صفحه يك خازن بدون بار به دو قطب يك مولد متصل می شود الکترونها

K-۱ را ضریب دی الکتریک نیز نامیده اند.



در این حالت اختلاف پتانسیل بین دو صفحه همه خازنهایی است ولی بار الکتریکی هر خازن متناسب با ظرفیت آن است یعنی:

$$q_1 = C_1 V \quad q_2 = C_2 V \quad q_3 = C_3 V \quad \dots$$

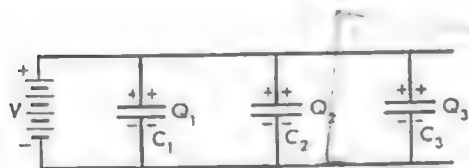
ولی بار الکتریکی کل  $q$  که توسط مولد به خازنها داده میشود برابر مجموع این بارهاست:

$$q = q_1 + q_2 + q_3 + \dots$$

$$q = C_1 V + C_2 V + C_3 V + \dots \quad \text{با}$$

$$\frac{q}{V} = C_1 + C_2 + C_3 + \dots \quad \text{و یا}$$

$$C = \frac{q}{V} \quad \text{را می توان ظرفیت خازنی دانست که اگر}$$



شکل ۲-۱۲- به هم بستن خازنها به طور موازی

به جای مجموعه خازنهای  $C_1$  و  $C_2$  و  $C_3$  و ... بگذارده شود تحت اختلاف پتانسیل مشترک  $V$  بار الکتریکی کل  $q$  در آن ذخیره گردد. چنین خازنی را خازن معادل مجموعه گویند. بنابراین:

$$C = C_1 + C_2 + C_3 + \dots \quad (۱۸-۲)$$

یعنی وقتی که خازنها به طور موازی به هم متصل می شوند ظرفیت کل مجموعه برابر مجموع ظرفیت خازنها است.

الف- به هم بستن موازی- شکل (۲-۱۳) اتصال چند خازن به طور موازی را نشان می دهد.

به تدریج از یک صفحه خازن به صفحه دیگر آن منتقل می گردند تا این که بار الکتریکی نهایی  $q$  در خازن ذخیره شود. در نتیجه اختلاف پتانسیل میان دو صفحه خازن که در آغاز صفر بود لحظه به لحظه افزایش می یابد تا به محدنهایی  $V = \frac{q}{C}$  برسد.

چون اختلاف پتانسیل میان دو صفحه خازن متناسب با بار الکتریکی افزایش می یابد، مقدار متوسط آن

$$\bar{V} = \frac{0 + V}{2} = \frac{V}{2} = \frac{q}{2C}$$

می دانیم  $\bar{V}$  بنابه تعریف مقدار انرژی است که برای انتقال واحد بار الکتریکی لازم است بنابراین انرژی کل لازم برای ذخیره شدن بار الکتریکی  $q$  در خازن برابر است با:

$$W = \bar{V} q = \frac{1}{2} \frac{q^2}{C}$$

که با استفاده از رابطه  $q = CV$  می توان آنرا به صورت های زیر نیز نوشت:

$$W = \frac{1}{2} \frac{q^2}{C} = \frac{1}{2} CV^2 = \frac{1}{2} qV \quad (۱۷-۲)$$

$W$  بر حسب ژول و  $q$  بر حسب کولن و  $C$  بر حسب فاراد و  $V$  بر حسب ولت است. وقتی که خازن تغلیه می شود این انرژی آزاد می گردد.

به هم بستن خازنها- خازنها را، بسته به نوع استفاده از آنها، می توان به دو طریق موازی و متوالی به هم متصل کرد.

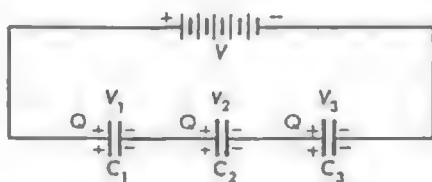
الف- به هم بستن موازی- شکل (۲-۱۳) اتصال چند خازن به طور موازی را نشان می دهد.

به طوری که در شکل دیده می شود تنها دو صفحه در طرف مجموعه که مستقیماً به مولد بسته شده اند از مولد بار الکتریکی دریافت می کنند و صفحه های دیگر از طریق القاء دارای بار الکتریکی می شوند بنابراین اندازه بار الکتریکی همه خازنهایکی است ولی اختلاف پتانسیل دو سر مجموعه برابر حاصل جمع اختلاف پتانسیل های دو سر خازنهاست یعنی:

$$V = V_1 + V_2 + V_3 + \dots$$

ولی

$$V_1 = \frac{q}{C_1} \text{ و } V_2 = \frac{q}{C_2} \text{ و } V_3 = \frac{q}{C_3} \text{ و } \dots$$



شکل ۲-۱۳- به هم بستن متوالی خازنها

پس 
$$V = q \left( \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} + \dots \right)$$

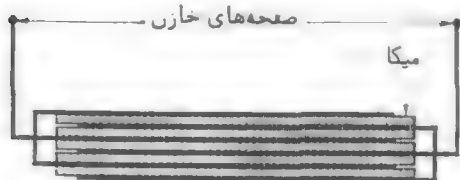
با 
$$\frac{V}{q} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} + \dots$$

اگر  $C$  ظرفیت خازن معادل مجموعه باشد (یعنی خازنی که تحت اختلاف پتانسیل کل  $V$  بار الکتریکی مشترک  $q$  در آن ذخیره شود) برای این خازن خواهیم داشت  $q = CV$  و پس  $\frac{V}{q} = \frac{1}{C}$  بنابراین

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} + \dots \quad (۲-۱۹)$$

انواع خازن - خازنهایی که امروزه در صنعت الکترونیک به کار می روند بسته به موارد کاربردشان در جریانه های مستقیم یا متناوب، به انواع مختلف و به شکل های گوناگون ساخته می شوند. در این جا فقط دو نمونه بسیار متداول را بیان می کنیم.

خازن با ورقه های نازک - در این خازن دو نوار فلزی بسیار نازک، از جنس آلومینیوم یا تلع، به دو طرف یک نوار کاغذی آغشته به پارافین چسبانده شده است بنابراین دو نوار فلزی صفحه های هادی خازن و کاغذ آغشته به پارافین دی الکتریک آن را تشکیل می دهند این مجموعه را روی نوار کاغذی دیگری که آن هم آغشته به پارافین است قرار داده و می پیچند تا به شکل استوانه کوچکی درآید و در یک جعبه کوچک می گذارند. این نوع خازنها که آنها را خازنهای کاغذی نیز می نامند در مدارهای

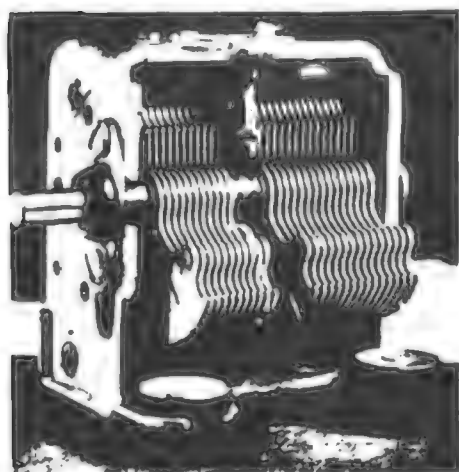


شکل ۲-۱۵- خازن با ورقه های نازک میکا

الکترونیکی رادیو، تلویزیون، دستگاه برق اتومبیل و... به کار برده می شوند.

در نوع دیگری از این خازنها به جای کاغذ از ورقه های کوچک و نازک میکا به جای دی الکتریک استفاده می شود به این ترتیب که صفحات نازک فلزی و ورقه های میکا را یک درمیان روی هم قرار می دهند. با  $n$  ورقه میکا و  $n+1$  ورقه فلزی خازن

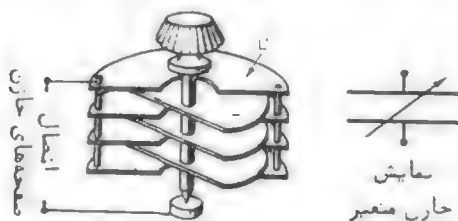
خازن‌ها به سبب استحکام و سهولت کاربرد، در رادیو به کار می‌روند. با چرخاندن صفحات متحرکی که بین صفحات ثابت قرار دارند، سطح مؤثر صفحات خازن تغییر می‌کند و در نتیجه ظرفیت خازن تغییر می‌نماید. شکل (۲-۱۶) طرح ساده‌ای از این خازن و شکل (۲-۱۷) یک نمونه واقعی این خازن را نشان می‌دهد.



شکل ۲-۱۷- شوالی از خازن متغیر

مرکبی از اجتماع  $n$  خازن مسطح به دست می‌آید که به طور موازی به هم بسته می‌شوند (شکل ۲-۱۵). ظرفیت این نوع خازن را می‌توان به چند میکرو فاراد رسانید. اگر دی الکتریک این نوع خازن‌ها از ماده دی اکسید تیتانیوم<sup>۱</sup> یا تیتانات باریم<sup>۲</sup> که ضریب عایق خیلی بزرگی (در حدود ۱۲۰۰) دارند انتخاب شود می‌توان خازن‌هایی با ابعاد کوچک به ظرفیت چندین میکرو فاراد ساخت.

خازن‌های متغیر - ظرفیت این گونه خازن‌ها را می‌توان به دلخواه از صفر تا بیشترین مقدار آنها (که معمولاً ضعیف و در حدود نانوفاراد است) تغییر داد. این



شکل ۲-۱۶- طرح ساده‌ای از خازن متغیر

L: صفحه متحرک L': صفحه ثابت

به این پرسشها پاسخ دهید

- ۱) چگونه می‌توانید نشان دهید که نیروی بین دو بار الکتریکی نقطه‌ای متناسب با حاصل ضرب آنهاست؟
- ۲) با چه آزمایشی می‌توان نشان داد که نیروی جاذبه یا دافعه بین دو بار الکتریکی به نسبت عکس مجذور فاصله آنها تغییر می‌کند؟ شرح دهید.
- ۳) سه بار الکتریکی نقطه‌ای  $q_1$  و  $q_2$  و  $q_3$  به فاصله‌های مساوی از یکدیگر بزرگ خط



راست قرار دادند. اندازه بارهای  $q_1$  و  $q_2$  برابر ولی نوع آنها مخالف است. بار  $q_1$  نسبت به  $q_2$  یا  $q_3$  چه اندازه باید باشد تا برآیند نیروهای وارد بر بار  $q_3$  صفر شود؟ در این صورت  $q_1$  با کدام يك از بارهای  $q_2$  و  $q_3$  هم نوع است؟

(۷) میدان الکتریکی را تعریف کنید. جهت میدان الکتریکی در هر نقطه از میدان چگونه است؟ خطوط نیرو در يك میدان الکتریکی معرف چه واقعت‌هایی هستند؟

(۵) - توضیح دهید چگونه با آزمایش می‌توان اندازه و جهت میدان الکتریکی را در يك نقطه از فضا معین کرد؟

(۶) - تعریف اختلاف پتانسیل الکتریکی بین دو نقطه چیست.

(۷) - آیا اختلاف پتانسیل بین دو نقطه بستگی به اندازه بار الکتریکی که از يك نقطه به نقطه دیگر انتقال می‌یابد دارد؟

(۸) الکترون - ولت واحد کدام يك از کمیت‌های زیر است؟

بار الکتریکی، اختلاف پتانسیل، کار، شدت میدان الکتریکی.

(۹) - شدت میدان الکتریکی را تعریف کنید. چرا در اطراف يك بار الکتریکی واقع در يك نقطه، شدت میدان الکتریکی ثابت است؟ میدان یکتواخت را چگونه می‌توان به وجود آورد؟

(۱۰) - در شکل (۲-۱۲) انحراف عقربه الکترومتر تابع بار الکتریکی  $q$  است و طبق رابطه  $q = CV$  تابع اختلاف پتانسیل  $V$  نیز هست. آیا می‌توان الکترومتر را بر حسب ولت مدرج کرد و آن را به عنوان ولت سنج بکار برد؟

(۱۱) - در شکل (۲-۱۲) اگر دو صفحه خازن را به هم نزدیک کنیم انحراف عقربه الکترومتر کمتر و اگر آنها را از هم دور کنیم انحراف عقربه بیشتر می‌شود. علت را توضیح دهید.

(۱۲) - ظرفیت خازن معادل در هر يك از حالات زیر چیست؟

الف - هرگاه  $n$  خازن یکسان را که ظرفیت هر يك  $C_1$  است به طور متوالی به هم متصل کنیم

ب - هرگاه  $n$  خازن یکسان را که ظرفیت هر يك  $C_1$  است به طور موازی به هم ببندیم

ج - هرگاه  $N = pn$  خازن یکسان را که ظرفیت هر يك  $C_1$  است در  $p$  رشته

موازی به رشته شامل  $n$  خازن متوالی به هم وصل کنیم.

(۱۳) - اگر بدون این که بار الکتریکی يك خازن تغییر کند دو صفحه آن را از هم دور کنیم

چه تغییری در انرژی آن حاصل می‌شود؟ علت این تغییر انرژی را بیان کنید.

۱۴ - دو صفحه خازنی ده بین آنها مواسف به دو قطب يك باتری متصل و خازن پر شده

است. بدون این ده خازن را از باتری جدا کنیم يك دی الکتریک شیشه بین دو صفحه آن قرار

می‌دهیم از کمیت‌های زیر کدامشان تغییر می‌کنند و تغییر آنها چگونه است؟

اختلاف پتانسیل بین دو صفحه، بار الکتریکی خازن، ظرفیت خازن، انرژی خازن

(۱۵) - تعدادی خازن در اختیار داریم. اگر بخواهیم با اختلاف پتانسیل ثابت بار الکتریکی بیشتری داشته باشیم خازن‌ها را چگونه باید بهم ببندیم.

## این مسئله‌ها را حل کنید

(۱) دو بار نقطه‌ای مثبت و مساوی، هر يك برابر  $4-10$  ولتن، به فاصله دومترازیكديگر قرار دارند. نیروی بین آنها چقدر است؟

(۲) اندازه و نوع نیروی بین يك بار منفی  $5$  میکرو کولانی و يك بار مثبت  $2$  میکرو کولانی را که به فاصله  $9$  سانتیمتر از یکدیگر قرار دارند تعیین کنید.

(۳) طبق مدل اتمی بور اتم نئودروژن از يك پروتون و يك الكترون تشکیل یافته است که فاصله آنها از یکدیگر  $5.3 \times 10^{-11} \text{ m}$  است. اگر بار الکتریکی يك الكترون و يا يك پروتون را معادل  $1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$  بگیریم چه نیروی الكترون و پروتون را در اتم نئودروژن به هم پیوند می‌دهد؟

(۴) - در آزمایشهای بسیار جالبی که توسط رادرفورد به منظور اثبات وجود هسته در اتم انجام گرفت، او وره نازکی از طلا را توسط يك دسته ذرات آلفا، حاصل از يك ماده رادیواکتیو بمباران کرد. پراکنده شدن ذرات آلفا به اطراف توسط ورقه طلا این فکر را در رادرفورد تقویت کرد که اتم طلا دارای هسته سنگین است که بار مثبت دارد و بارهای منفی موجود در اتم، همه خارج از هسته قرار دارند. هر ذره آلفا (که هسته هلیوم است) دارای بار الکتریکی  $+2e$  ( $e = 1.602 \times 10^{-19} \text{ C}$ ) و هسته هر اتم طلا دارای بار الکتریکی  $+79e$  است. نیروی دافعه کولنی را وقتی که ذره آلفا به فاصله  $14-10$  متری هسته اتم طلا می‌رسد حساب کنید.

جواب: تقریباً  $360 \text{ N}$

(۵) دوبار همنام وقتی که به فاصله  $d$  از یکدیگر واقع شوند نیروی معین  $F$  به هم وارد می‌کنند. الف- اگر فاصله دوبار را نصف، و برابر یا سه برابر کنیم  $F$  به چه نسبتی تغییر خواهد کرد؟ ب- اگر در فاصله ثابت  $d$  اندازه یکی از بارهای الکتریکی را نصف یا دو برابر یا سه برابر کنیم  $F$  به چه نسبتی تغییر می‌کند؟

(۶) بار مثبت آزمون را روی خط واصل بین دو کره فازی کوچک که بار الکتریکی مثبت و برابر دارند طوری قرار می‌دهیم که فاصله آن از یکی از کره‌ها  $\frac{1}{3}$  فاصله بین دو کره باشد. اگر نیروی وارد از طرف کره نزدیکتر به بار آزمون  $F$  باشد نیروی وارد بر آن از طرف کره دورتر چیست؟ اندازه و جهت برایندهای وارد بر بار آزمون را مشخص کنید.

۷) در سه رأس  $A, B$  و  $C$  يك مثلث متساوی الاضلاع كه طول هر ضلع آن  $10$  سانتیمتر است

سه بار الكتریکی نقطه‌ای كه اندازه آنها به ترتیب  $+10^{-7}C$  و  $+10^{-7}C$  و  $-10^{-7}C$  است

قرار گرفته اند، مطلوب است نیروهای الكتریکی كه بر هر يك از این بارها وارد می‌شود.

۸) بار مثبت  $10^{-7} \times 8/0$  كولنی وقتی در نقطه‌ای از يك میدان الكتریکی فرار گیرد نیرویی برابر  $4N/0$  بر آن وارد می‌شود. شدت میدان الكتریکی را در این نقطه حساب كنید.  
 ۹) شدت میدان الكتریکی در يك میدان يكنواخت (یعنی میدانی كه شدت آن ثابت و خطوط نیروی آن موازی و هم جهت است) برابر  $\frac{N}{C}$  است. اندازه نیروی وارد بر يك الكترون را وقتی كه در این میدان فرار می‌گیرد حساب كنید. بار الكتریکی الكترون را  $1.6 \times 10^{-19}C$  بگیرید.

۱۰) دو بار الكتریکی نقطه‌ای هموع  $+1$  و  $+4$  میکروكولن (یا  $-1$  و  $-4$  میکروكولن) در دو نقطه  $A$  و  $B$  به فاصله  $8$  سانتیمتر از يكدیگر قرار داده شده اند. جای نقطه‌ای را روی خط  $AB$  پیدا كنید كه شدت میدان الكتریکی در آن نقطه صفر باشد.

جواب: در فاصله  $\frac{8}{3}$  سانتیمتر از بار  $1$  میکروكولنی و در فاصله  $\frac{16}{3}$  سانتیمتر از بار  $4$  میکروكولنی.

۱۱) بار الكتریکی معادل  $10^{-7} \times 4/5$  كولن از يك نقطه به سطح يك كره فلزی كوچك كه روی پایه عایقی قرار دارد منتقل شده و در این انتقال  $10^{-2} \times 1/8$  ژول كار انجام گرفته است. پتانسیل سطح كره فلزی را حساب كنید.

جواب:  $4/0 \times 10^2 V$

۱۲) بین دو صفحه رسانای موازی كه فاصله آنها از يكدیگر  $3$  سانتیمتر است اختلاف پتانسیل  $6000$  ولت برقرار شده است. يك قطره روغن با بار الكتریکی  $10^{-11} \times 9/6$  كولن در فضای بین این دو صفحه در حال سقوط است. (به شكل ۲-۶ مراجعه كنید)

الف- شدت میدان الكتریکی بین دو صفحه را حساب كنید.

ب- چه نیرویی در این میدان بر قطره روغن باردار وارد می‌شود؟

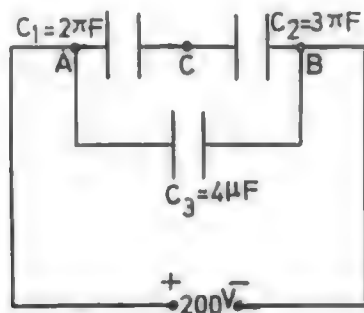
جواب: الف)  $2 \times 10^5 \frac{V}{m}$  ب)  $1/92 \times 10^{-12} N$

(۱۳) يك تعمير كار دستگاههای الكترونيك، سه خازن  $C_1 = 4\mu F$  و  $C_2 = 6\mu F$  و  $C_3 = 12\mu F$  در اختيار دارد. اين تعمير كار با سه خازن خود چه ظرفيت‌هایی می‌تواند بدست آورد؟

(۱۴) سه خازن  $C_1 = 2\mu F$  و  $C_2 = 3\mu F$  و  $C_3 = 4\mu F$  مطابق شکل (۲-۱۸) به هم بسته شده‌اند. اگر اختلاف پتانسیل بين دو نقطه A و B برابر ۲۰۰ ولت باشد اختلاف پتانسیل بين دو نقطه A و C چه اندازه‌است؟

بار الكتريکی هر خازن و ظرفيت معادل مجموعه را حساب کنید. انرژی کل مجموعه در وقت پربودن چه اندازه‌است؟

جواب: ۱۲۰ ولت و ۲۴۰ د و ۲۴۰ و ۸۰۰ میکرو کولن، ۵/۲ میکرو فاراد، ۰/۱۰۴ ژول



شکل (۲-۱۸)

(۱۵) مطلوبست اندازه سطح مقابل هم هريك از دو صفحه خازنی به ظرفيت ۲ میکروفاراد که دی الكتريك آن‌هاغذ آغشته به پارافين به ضخامت ۰/۱ ميليتر و با ثابت دی الكتريك ۲/۲ است.

جواب: تقريباً ۱۰/۳ متر مربع

(۱۶) ظرفيت خازنی که دی الكتريك آن هواست ۱۰۰۰ پيكوفاراد و بار الكتريکی هر يك از صفحات آن ۱ میکروکولن است.

الف- اختلاف پتانسیل ميان دو صفحه آن را حساب کنید.

ب- اگر بار الكتريکی ثابت نگاهداشته شود ولی فاصله بين دو صفحه دو برابر شود اختلاف پتانسیل ميان دو صفحه چه اندازه خواهد شد.

پ- برای دو برابر کردن فاصله دو صفحه خازن چه مقدار کار لازمست؟

جواب: الف- ۱۰۰۰V و ب- ۲۰۰۰V ، پ-  $5 \times 10^{-4}$  پد

## پاسخ به پرسشهای متن بخش ۲

### ۱-۲) چهار برابر

۲-۲) نه! نیروی بین دو جسم بزرگ باردار را که خیلی به هم نزدیک هستند می توان حاصل جمع برداری نیروهایی دانست که هر یک از بارهای نقطه ای منفرد جسم اول بر همه بارهای نقطه ای منفرد جسم دوم وارد می سازد. محاسبه این نیروها از سطح کار این کلاس خارج است و شما در تعقیب درس فیزیک وقتی که با ریاضیات عالی تری آشنا شده می توانید آنها را حساب کنید

۳-۲) - نه. تساوی این نیروها مسدود یکی بودن بار الکتریکی دو جسم نیست و به شکل دو جسم هم بستگی ندارد و فقط بر اساس اصل عمل و عکس العمل توجیه می شود.

۴-۲) بار مثبت آزمون اگر در میدان الکتریکی حاصل از جسمی که بار مثبت دارد واقع شود در راستای خطوط نیرو از آن دور می شود و اگر در میدان حاصل از جسمی که بار منفی دارد قرار گیرد در راستای خطوط نیرو به آن نزدیک می گردد (به شکلهای ۲-۱۳ و ۲-۱۴ مراجعه کنید).

$$F = k \frac{q \times 1}{r^2} \quad \text{در رابطه } F = k \frac{q q'}{r^2} \text{ اگر } q' = 1 \text{ باشد داریم:}$$

و این نیرویی است که در میدان حاصل از بار الکتریکی  $q$  بر روی واحد بار الکتریکی وارد می شود و بنا به تعریف برابر است با شدت میدان الکتریکی در نقطه ای به فاصله  $r$  از بار الکتریکی  $q$  که به  $E$  نمایش داده می شود. بنابراین:

$$E = k \frac{q}{r^2}$$

اگر به جای بار الکتریکی واحد، بار الکتریکی  $q'$  در آن نقطه قرار داده شود نیرویی که بر آن وارد می شود برابر خواهد بود با:

$$F = k \frac{q}{r^2} \cdot q' = E \cdot q'$$

$$E = \frac{F}{q'}$$

با

$$E = \frac{F}{q'}$$

۶-۲) داریم:

$$F = E \cdot q' = 2 \times 10^4 \times \left( \frac{-1}{2} \times 10^{-5} \right) = -0.1 \text{ N}$$

با

این نتیجه را می توان از راه استدلال نیز به دست آورد.

۷-۲) - نه. جهت جریان همواره از پتانسیل بیشتر به طرف پتانسیل کمتر است، همچنان که گرما از جسمی که دمای آن بیشتر است به طرف جسمی که دمای آن کمتر است می رود، و آب از سطح تراز بالاتر به طرف سطح تراز پایین تر می رود و یا ملکولهای گاز از ظرفی که فشار گاز در آن بیشتر است به طرف دیگری که فشار گاز در آن کمتر است می رود.



۸-۲) نه ، پتانسیل نقاط مختلف سطح يك جسم رسانای باردار بستگی به چگالی سطحی بار الکتریکی ندارد و در همه نقاط سطح آن به يك اندازه است . برای آزمون این واقعیت کافی است يك سر سیم روپوش داری را به كلاكه الكروسكوپ متصل کرده و سر دیگر سیم را روی سطح جسم رسانای باردار جابجا كنیم، مشاهده می شود كه اندازه انحراف ورقه الكروسكوپ تغییر نمی كند. سطوحی (كه پتانسیل همه نقاط آنها به يك اندازه است سطوح هم پتانسیل گویند.

۹-۲) - اگر جسم از ابتدا دارای بار مثبت  $Q$  باشد کاری كه برای انتقال بار مثبت  $q$ ، به صورت  $w = vq$  انجام می شود به صورت انرژی پتانسیل درجسم ذخیره می گردد و پتانسیل  $v$  مثبت است. ولی اگر جسم دارای بار منفی  $Q$  باشد، ضمن انتقال بار مثبت  $q$  از زمین به جسم، انرژی آزاد می شود و پتانسیل  $v$  منفی است.

۱۰-۲) در انتقال بار  $+q$  از  $v_1$  به  $v_2$  انرژی به اندازه  $vq$  آزاد می شود ولی برعكس، در انتقال بار  $+q$  از  $v_1$  به  $v_2$  همین مقدار انرژی باید مصرف شود.

۱۱-۲) این کار برابر است با:

$$W = v_e = 17 \times 1.6 \times 10^{-19} \text{C} = 1.6 \times 10^{-19} \text{J}$$

كه آن را يك «الکترون - ولت» نیز می گویند. الکترون - ولت واحد سنجش انرژی ذرات در فیزیک اتمی و هسته ای است .

۱۲-۲) از نیروی محرکه مولد

## جریان الکتریسته

در بخش ۲ دیدید هرگاه دو کره رسانای باردار را که روی پایه‌های نارسانا قرار دارند و یکی دارای بار منفی و دیگری دارای بار مثبت (به مقدار مساوی) است با یک رشته سیم به هم وصل کنیم الکترون‌ها از کره‌ای که بار منفی دارد به طرف کره دیگر که بار مثبت دارد می‌روند. این عمل در یک زمان خیلی کوتاه انجام می‌شود و اختلاف پتانسیل بین دو کره (یعنی عاملی که سبب انتقال الکترون‌ها از یک کره به کره دیگر می‌شود) به صفر می‌گراید.

اینک فرض کنید وسیله‌ای پیدا شود که به جای هر الکترون که از کره اول به کره دوم می‌رود یک الکترون را دوباره از راه دیگر از کره دوم به اول برگرداند. اگر چنین کاری انجام شود اندازه بارهای منفی و مثبت روی دو کره تغییر نمی‌کند و در نتیجه اختلاف پتانسیل بین دو کره ثابت می‌ماند و جریان الکتریکی پیوسته‌ای در یک جهت برقرار می‌شود. بنابراین برای این که جریان الکتریکی پیوسته‌ای در یک رشته سیم برقرار شود وسیله‌ای لازم است که بتواند اختلاف پتانسیل بین دو سر سیم را ثابت نگه دارد. پیل‌های شیمیایی و ژنراتورهای الکتریکی (مانند دیناموها) از جمله این وسیله‌ها هستند ژنراتورهای الکتریکی را بعداً خواهیم آموخت. در اینجا نخست با بعضی از پیل‌های شیمیایی و طرز کار آنها آشنا می‌شوید، سپس دربارهٔ جریان الکتریسته و اثرهای آن مطالب بیشتری می‌آموزید.

### پیل‌های شیمیایی

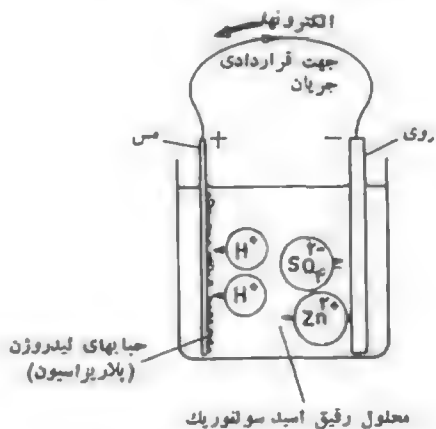
تبدیل می‌کند و تسووع ساده آن از دو میله با دو

سیمی، حال که از نامش بداند، انرژی حاصل از واکنش شیمیایی را به انرژی الکتریکی تبدیل می‌کند. سیم رسانا بسکین یافته است نه در محلولی از اسیدها بار و سیم که به نام الکترولیت

فرو برده شده‌اند ساده‌ترین نوع آن پیل دلتاست. این پیل نخستین بار توسط ولتا فیزیکدان ایتالیایی اختراع شده و پس از تکمیل به صورت دو میله یا دو تیغه مس و روی در آمده است که در محلول رقیقی از اسید سولفوریک درون يك ظرف شیشه‌ای فرو برده شده‌اند.

### طرز کار يك پیل ساده

گفتیم برای ساختن يك پیل ساده دو تیغه مسانی غیر همجنس را درون محلولی از اسید یا باز یا نمك قرار می‌دهند. ولی وقتی گفتگو از يك پیل ساده می‌شود معمولاً پیل ولتا را در نظر می‌گیرند یعنی پیلی که از دو تیغه مس و روی که درون محلول رقیق اسید سولفوریک قرار دارند درست شده است (شکل ۱-۳). وقتی که دو تیغه مس و روی با يك رشته سیم به هم متصل می‌شوند، حل شدن تیغه روی در محلول اسید سولفوریک به آرامی آغاز می‌گردد و اطراف تیغه مس نیز حبابهای ریز نیدروژن تشکیل می‌شود. همزمان با این عمل، جریان الکترونها



شکل ۱-۳- طرز کار يك پیل ساده

در سیم از روی به طرف مس برقرار می‌شود. این پدیده را می‌توان چنین توجیه کرد: مولکول اسید سولفوریک دارای فرمول شیمیایی  $H_2SO_4$  است. هنگامی که این اسید در آب ریخته می‌شود، در عده‌ای از مولکولها، گروه اتمهای (بنیان)  $SO_4$  از دو اتم نیدروژن ( $H_2$ ) جدا می‌گردد و در این عمل دو الکترون از دو اتم نیدروژن (از هر اتم يك الکترون) می‌گیرد. بنابراین اتمهای نیدروژن دارای بار الکتریکی مثبت و بنیان  $SO_4$  دارای بار الکتریکی منفی می‌شوند، به عبارت دیگر به صورت یون در می‌آیند. به یون تبدیل شدن مولکول اسید سولفوریک را می‌توان چنین نمایش داد:



از طرف دیگر، ضمن حل شدن تیغه روی در محلول اسید، اتمهای روی به صورت یونهای  $Zn^{2+}$  وارد محلول می‌شوند. بنابراین هر يك از اتمهای روی به هنگام جدا شدن از تیغه، دو الکترون از خود در آن به جای می‌گذارد و همین الکترونها به جای مانده، منبع جریان الکترون از تیغه روی به سوی تیغه مس در سیم هستند.

پرسش ۱-۳- به نظر شما یونهای آزاد  $Zn^{2+}$

و  $SO_4^{2-}$  در محلول اسید چه می‌شوند؟

همزمان با ورود یونهای روی به محلول اسید، یونهای نیدروژن نیز به تعداد هم از یونهای روی به سوی تیغه مس می‌روند و بر سطح آن جمع می‌شوند و پس از گرفتن الکترون از تیغه مس به صورت اتمهای خنثی در آمده و به شکل حبابهای ریز نیدروژن اطراف تیغه را فرا می‌گیرند.

تیغه مس که به این طریق الکترون از دست می‌دهد بار الکتریکی مثبت پیدا می‌کند و آماده

جذب الکترونهاى آزاد تیغه روى از راه سیم رابط بین دو تیغه می گردد.

تیغه مس را که دارای بار مثبت است قطب مثبت (یا الکتروود<sup>۱</sup> مثبت) و تیغه روى را که دارای بار منفى است قطب منفى (یا الکتروود منفى) می نامند. حرکت الکترونها در سیم همان چیزی است که جریان الکتريسته با جریان برق نامیده می شود و چنان که می دانید مسیر کاملی که جریان برق طی می کند مدار الکتريکی نام دارد.

### سوی قراردادی جریان برق

در سال ۱۸۰۰ میلادی که نخستین پیل ساده توسط ولتا اختراع شد طرز کار آن را بدین سان که شرح دادیم نمی دانستند و دانشمندان آن زمان راهی برای پیدا کردن جهت واقعی جریان برق نمی شناختند به همین جهت سوی جریان الکتريسته مثبت را در سیم از قطب مثبت (تیغه مس) به طرف قطب منفى (تیغه روى) در نظر گرفتند. ولى چنان که گفتیم، جریان الکتريسته در واقع عبور الکترونهاى منفى از تیغه روى به تیغه مس است، چون انتخاب سوی جریان تأثیری در قانونهای الکتريسته و کاربرد آنها ندارد بگذارید ما هم همان جهت قراردادی سابق را در نظر بگیریم.

**نیروی محرکه پیل** - هر اسباب مولد الکتريسته مانند پیل یادینامو را که بتواند در يك مدار، جریان برق برقرار سازد می گویند دارای نیروی محرکه (یا نیروی الکترو موتوری) است. نیروی محرکه مانند

اختلاف پتانسیل یا واحد ولت<sup>۲</sup> (که با آن آشنایی دارید) سنجیده می شود و در صفحه های بعد به طور دقیق تعریف خواهد شد. در اینجا نیروی محرکه پیل را چنین تعریف می کنیم:

نیروی محرکه يك پیل برابر اختلاف پتانسیل بین دو قطب آن است وقتی که هیچ جریانی از آن گرفته نشود یعنی مدار آن باز باشد.

در عمل، برای تعیین نیروی محرکه يك پیل کافی است دو سر يك «ولت سنج»<sup>۳</sup> را با دو رشته سیم به دو قطب پیل اتصال دهیم و اختلاف پتانسیل میان دو قطب را اندازه بگیریم. آنچه که در این حالت ولت سنج نشان می دهد تقریباً برابر نیروی محرکه مولد است.

### عیبهای يك پیل ساده

**الف - پلاریزاسیون** - هنگام استفاده از يك پیل ساده ولتا مشاعده می شود که جریان در مدار به سرعت کاهش می یابد و اندازه آن خیلی کم می شود. علت این است که لایه ای از حبابهای نیدروژن اطراف تیغه مس را فرا می گیرد و به اصطلاح پیل پلاریزه می شود. لایه نیدروژن به دو علت جریان را کم می کند: یکی آن که سبب کاهش نیروی محرکه پیل می شود. **پوشش ۳-۲** - به نظر شما چرا با تشکیل لایه نیدروژن بر سطح تیغه مس نیروی محرکه پیل کاهش می یابد؟

دیگر آن که گاز نیدروژن مانند گازهای دیگر نارساناست و لایه نارسانایی که از این گاز در اطراف تیغه مس تشکیل می شود مانع عبور الکترونها

۱- Electrode

۲- Volt

۳- اساس کار ولت سنج را در صفحه های بعد خواهید آموخت.

(یعنی جریان برق) می گردد.

پرش ۳-۳= چه راهی برای از بین بردن حبابهای نیدروژن پیشنهاد می کنید ؟

ب- اثر موضعی- اگر تیغه رویی که در ساختن پیل ساده به کار می رود از نوع روی نجارتی و ناخالص باشد، هنگام استفاده از پیل، در سطح تیغه رویی نیز حبابهای نیدروژن تشکیل می شود. تشکیل حبابهای نیدروژن بر سطح تیغه روی، يك اثر موضعی است که نباید آن را با پلازیاسیون (نامی ده به تشکیل حبابهای نیدروژن بر سطح تیغه مس داده شده است) اشتباه کرد. وجود ذرات ناخالصی، مانند آهن یا کربن در روی سبب می شود که پیلهای بسیار کوچک موضعی در سطح تیغه روی ایجاد شود و حبابهای نیدروژنی که بر سطح این تیغه دیده می شود حاصل از همین پیلهای کوچک موضعی است. این اثر موجب حل شدن تدریجی تیغه روی در اسید و از بین رفتن آن می شود. خوشبختانه این عیب را می توان به آسانی بر طرف کرد؛ کافی است که تیغه روی را در محلول اسید سولفوریک بشویند و با يك تکه کوچک بشيه يك قطره جيوه را بر تمام سطح تیغه بمالند. در نتیجه پوششی از معلقه روی بر سطح تیغه تشکیل می شود که مانع تماس ناخالصیها با اسید می گردد.

### پیل لکلانشه

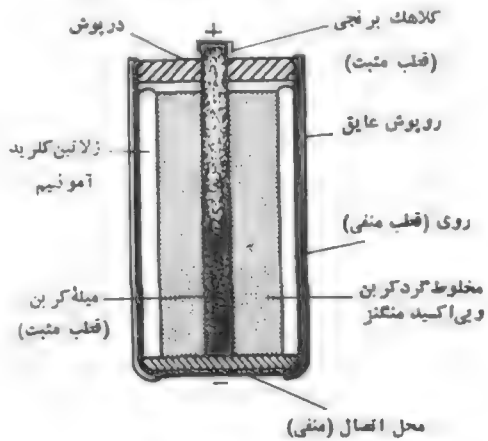
الکترولیت این پیل به جای اسید سولفوریک رقیق، محلول کلرید آمونیم (نشادر) و الکترودهای آن يك میله کربن و يك تیغه روی است. برای جلوگیری

از پلازیاسیون پیل، میله کربن را درون يك کیسه پارچه ای کوچک یا يك ظرف استوانه ای شکل سفالین که محتوی گگرد بی اکسید منگنز و کربن است می گذارند. میله کربن قطب مثبت و تیغه روی قطب منفی این پیل را تشکیل می دهد. نخستین نمونه این پیل در سال ۱۸۶۵ میلادی توسط لکلانشه<sup>۱</sup> دانشمند فرانسوی اختراع شده است.

پرش ۴-۴= بی اکسید منگنز چه اثری بر حبابهای گاز نیدروژن که اطراف میله کربن جمع می شوند دارد؟

پیل خشك- پیلهایی که در چراغ قوه های دستی با رادیوهای کوچک باتری دار مورد استفاده قرار می گیرند پیل خشك نامیده می شوند. این پیلها از نوع پیل لکلانشه هستند با این تفاوت که در آنها به جای محلول نشادر، از خمیری متشکل از نشادر و يك ماده ژلاتینی بی اثر استفاده می شود. ظرف محتوی این خمیر از روی ساخته می شود که خود قطب منفی پیل را تشکیل می دهد. قطب مثبت آن میله ای از جنس کربن است که برای جلوگیری از پلازیاسیون پیل، اطراف آن را با گرد فشرده ای از مخلوط بی اکسید منگنز و کربن می پوشانند (شکل ۳-۲). برای جلوگیری از خشك شدن خمیر، قسمت بالایی پیل را با يك ورقه فیلتر توسط قیر یا چیز دیگر کاملاً مسدود می کنند. پیل خشك اگر مورد استفاده هم واقع نشود به علت اثر موضعی که نمی توان از آن کاملاً جلوگیری کرد کم کم خراب می شود. ولی اگر آن را در جای سرد نگاه دارند ممکن است چند ماه و حتی نوع مرغوب آن چند سال سالم و قابل استفاده بماند.

نیروی محرکه هر پیل خشک ۱/۵ ولت است. معمولاً در عمل برای این که نیروی محرکه بیشتری به دست آورند چندتای آنها را به هم می‌بندند و مجموع آنها را باتری می‌نامند.



شکل ۳-۲. پیل خشک

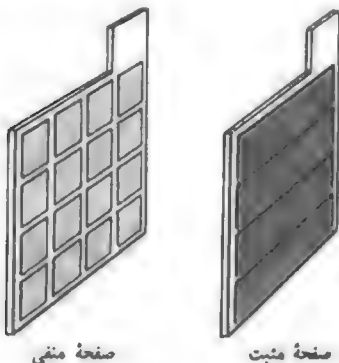
انباره سربی و باتری قلیایی نیکل - کادمیم ، یکی از مزایای انباره‌ها این است که مقاومت درونی آنها در برابر عبور جریان الکتریسته خیلی کم است. در نتیجه می‌توان از آنها جریان زیادی گرفت بدون این که اختلاف پتانسیل میان دو قطب آنها کاهش محسوسی پیدا کند (این مطلب را در صفحات بعد با بیان دقیق‌تری خواهید دید).

**الف- انباره سربی-** باتریهای اتومبیل از نوع انباره سربی هستند. قطبهای این نوع انباره از صفحه‌های مشبکی ساخته می‌شود که جنس آنها آلباز سرب و انجمن است. درون حفره‌های این صفحه‌ها را از مواد زور با فشار برمی‌کنند: صفحه‌های قطب مثبت را با خمیر  $Pb_2O_4$  (به نام صنعتی سرنج)

صفحه‌های قطب منفی را با خمیر  $PbO$  (به نام صنعتی لیتارژ)

و صفحه‌ها درون ظرفی محتوی اسید سولفوریک قرار داده می‌شوند. شکل ۳-۳ نمونه‌ای از این صفحه‌ها را نشان می‌دهد.

انباره‌های سربی را باید ابتدا پر کرد یعنی



شکل ۳-۳. صفحه‌های انباره سربی

## انباره یا اکومولاتور

پیلهایی که از آنها نام بردیم تا مدت معینی مورد استفاده قرار می‌گیرند و بعد باید آنها را دور انداخت زیرا در این پیلها جریان الکتریسته دواثر واکنشهای شیمیایی یک طرفه‌ای تولید می‌شود که پس از مصرف شدن تیغه روی، نمی‌توان با عبور دادن جریان در خلاف جهت، پیل را به صورت اولیه خود برگرداند. ولی مولدهای شیمیایی دیگری ساخته شده است که پس از مصرف، می‌توان با عبور دادن جریان حاصل از دینامو یا مولد دیگر، آنها را دوباره به صورت اول برگرداند. این نوع مولدهای شیمیایی را انباره یا اکومولاتور نامیده‌اند و دو نمونه مهم از این دسته مولدها عبارتند از:

از آنها در مدت لازم جریان برق ثابتی عبور داد. وقتی که يك انباره سربی برای بار اول پر می‌شود صفحه‌های قطب مثبت و منفی آن به ترتیب تبدیل به بی اکسید سرب ( $PbO_2$ ) و سرب ( $Pb$ ) می‌گردند. ظرفیت الکتریکی انباره را با واحد آمپر ساعت با علامت اختصاری Ah مشخص می‌کنند و چنان‌که می‌دانید آمپر واحد شدت جریان برق است. مثلاً انباره‌ای که ظرفیت الکتریکی آن ۸۰ آمپر ساعت است می‌تواند جریانی به شدت ۸ آمپر در مدت ۱۰ ساعت یا ۲۰ آمپر در ۴ ساعت در مدار برقرار سازد.

**پرش ۳-۵-** اگر جریانی به شدت يك آمپر از چنین انباره‌ای گرفته شود چند ساعت می‌تواند کار کند؟

در عمل نتیجه‌ای که به دست می‌آید با آنچه در مثال بالا گفته شد تطبیق نمی‌کند. یعنی اگر از يك انباره شدت جریان کمی در مدت دراز گرفته شود ظرفیت آن عملاً خیلی بیشتر از هنگامی خواهد بود که از آن شدت جریان زیاد در مدت کوتاهی گرفته شود.

ظرفیت الکتریکی تجارتي انباره را برای مدت ۱۰ ساعت حساب می‌کنند، یعنی مقدار آمپر ساعتی که در مدت ۱۰ ساعت از تخلیه کامل انباره به دست می‌آید.

وقتی که يك انباره سربی از بار الکتریکی تخلیه می‌شود هر دو صفحه آن به تدریج به سولفات سرب تبدیل می‌شوند و اسید آن رقیق‌تر می‌گردد یعنی چگالی آن کمتر از آنچه باید باشد می‌شود. بنابراین برای تشخیص چگونگی انباره باید چگالی اسید آن با چگالی سنج امتحان شود.

نیروی محرکه هر واحد انباره سربی، موقعی

که کاملاً پر باشد  $2/2$  ولت و چگالی نسبی اسید آن  $1/25$  است. وقتی از انباره سربی به طور عادی استفاده شود نیروی محرکه هر واحد آن تا مدت زیادی در حدود ۲ ولت ثابت می‌ماند و اگر چگالی اسید به  $1/15$  تنزل کند انباره خالی شده تلقی می‌شود. يك باتری ۱۲ ولتی اتومبیل از اتصال متوالی ۶ واحد انباره درست می‌شود.

**مراقبت از انباره سربی-** انباره سربی باید به طور مرتب پر شود. هیچ‌گاه نباید انباره را در مدت طولانی خالی نگاه داشت. اگر از انباره استفاده نشود باید آن را ماه به ماه پر کرد.

وقتی که انباره کاملاً پر می‌شود در صورتی که عمل پر کردن ادامه یابد از قطب منفی آن نیدروژن و از قطب مثبت آن اکسیژن متصاعد می‌شود بنابراین از امتحان باتریهای پر شده در مجاورت شعله باید خودداری شود زیرا مخلوط اکسیژن و نیدروژنی که از قطبها متصاعد می‌شود ممکن است متفجر گردد. خالی شدن بیش از اندازه انباره یا اتصال مستقیم قطبهای آن به یکدیگر برای انباره خیلی زیان‌آور است و این عمل سبب می‌شود که صفحه‌های انباره متورم شوند و مواد فعال آنها سست شده و به ته ظرف انباره فرو ریزند. اگر انباره مدتی خالی بماند سولفات سربی که روی صفحه‌ها تشکیل می‌شود به صورت بلورهای سفید رنگی درمی‌آید که با پر کردن انباره هم به سرب یا اکسید سرب تبدیل نمی‌شود. وقتی که چنین حالتی برای انباره پیش آید می‌گویند انباره سولفاته شده است. این انباره دیگر قابل استفاده نیست و باید به جای آن انباره نوی تهیه شود.

**ب- انباره قلیایی-** در انباره‌های قلیایی به جای

(نیدروکسید پتاسیم) استفاده می‌شود.

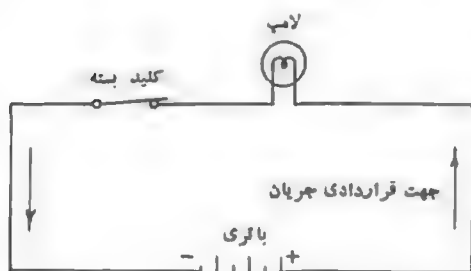
قطب مثبت انبارۀ قلیایی صفحه‌هایی از جنس نیدروکسید نیکل و قطب منفی آن آهن یا کادمیم است. چون کادمیم بر آهن مزیت دارد امروزه بیشتر کادمیم را به کار می‌برند. ولی به تجربه معلوم شده است که اگر مقدار کمی آهن به کادمیم اضافه شود بازده انبارۀ افزایش می‌یابد. دوام انبارۀهای قلیایی خیلی بیشتر از انبارۀهای سربی است و برخلاف انبارۀ سربی وقتی از آنها جریان زیاد گرفته شود آسیب نمی‌بینند. علاوه بر این می‌توان آنها را چندماه بدون استفاده در حال تخلیه الکتریکی نگاه داشت. به همین جهت انبارۀهای قلیایی را برای تأمین روشنایی قایقهای تفریحی که مدت‌ها ممکن است بدون استفاده روی آب دریا باقی بمانند به کار می‌برند. بسیاری از کشتیهای بزرگ، بیمارستانها و ساختمانهای عمومی نیز ممکن است مجهز به باتریهای قلیایی باشند که به هنگام ضرورت و قطع ناگهانی برق از آنها برای روشنایی استفاده شود. یکی از عیبهای انبارۀ قلیایی این است که نیروی محرکه هرواحد آن فقط در حدود ۱/۲۵ ولت است و این هم به تدریج با تخلیه الکتریکی انبارۀ کاهش می‌یابد. نیروی محرکه پنج واحد انبارۀ قلیایی که به‌توالی هم بسته شوند معادل نیروی محرکه سه واحد انبارۀ سربی متوالی است.

علاوه بر پیل‌های شیمیایی اسبابهای دیگری مانند دینامو و پیل آفتابی و پیل ترموالکتریک برای تولید جریان برق پیوسته ساخته شده‌اند که

ج با طرز کار آنها آشنا خواهید شد. در اینجا ما دنباله این بحث را رها می‌کنیم و به اصول و تعاریف مربوط به جریان برق و اندازه‌گیری آن می‌پردازیم.

### مدار الکتریکی ساده

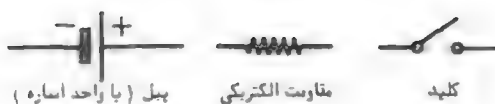
می‌دانید که یک مدار الکتریکی ساده معمولاً تشکیل می‌شود از یک مولد مانند پیل یا باتری که دو قطب آن با سیمهای مسی به دو سر یک یا چند



شکل ۳-۴- طرح یک مدار الکتریکی ساده.

مقاومت الکتریکی یا مصرف‌کننده دیگری وصل شده‌اند. شکل ۳-۴ مدار الکتریکی ساده‌ای را نشان می‌دهد که شامل یک باتری و یک لامپ و یک کلید است و هر یک از این اجزا با علامتهای قراردادی ویژه‌ای نمایش داده شده‌است. پاره‌ای از این علامتهای قراردادی در شکل ۳-۵ نمایش داده شده است. چون پیل یا باتری دارای نیروی محرکه است سبب می‌شود که بین دو سر هر یک از اجزای مصرف‌کننده موجود در مدار اختلاف پتانسیلی برقرار شود و در نتیجه از آنها جریان الکتریسته بگذرد. هر یک از اجزای موجود در مدار مقاومت





شکل ۳-۵. پاره‌ای از علائمهای قراردادی اجزاء مدار الکتریکی

جداگانه و خاصی در برابر حرکت الکترونها از خود نشان می‌دهد که مقاومت الکتریکی آن جزء نامیده می‌شود. بنابراین در هر مدار الکتریکی ساده سه چیز معمولاً اندازه‌گیری می‌شود:

۱- آمپر واحد شدت جریان الکتریسیته - شدت جریان الکتریکی، یعنی مقدار الکتریسیته‌ای که در واحد زمان از مدار می‌گذرد و واحد آن آمپر است (یا علامت اختصاری A)؛

۲- آمپر واحد شدت جریان الکتریسیته در دستگاه بین‌المللی واحدها (SI) آمپر است و بنا به تعریف عبارت است از جریان ثابتی که اگر از دو سیم راست و موازی

جداگانه و خاصی در برابر حرکت الکترونها از خود نشان می‌دهد که مقاومت الکتریکی آن جزء نامیده می‌شود. بنابراین در هر مدار الکتریکی ساده سه چیز معمولاً اندازه‌گیری می‌شود:

۱- آمپر واحد شدت جریان الکتریسیته - شدت جریان الکتریکی، یعنی مقدار الکتریسیته‌ای که در واحد زمان از مدار می‌گذرد و واحد آن آمپر است (یا علامت اختصاری A)؛

الکتریکی هر الکترون  $1.6 \times 10^{-19} = e$  کولن است چند الکترون باید از مقطع يك مدار بگذرد تا يك کولن الکتریسته عبور کند.

## ۲- ولت واحداختلاف پتانسیل - با مفهوم

اختلاف پتانسیل در فصل ۲ آشنا شدید. وقتی که در يك سیم جریان الکتریسته برقرار می شود می توان گفت بین دو سر آن اختلاف پتانسیل وجود دارد. واحد اختلاف پتانسیل در دستگاه بین المللی واحدها ولت است و چنین تعریف می شود:

بله ولت اختلاف پتانسیل میان دو نقطه است که اگر يك کولن الکتریسته از يك نقطه به نقطه دیگر انتقال یابد يك ژول کار انجام دهد. بنابراین اگر  $Q$  کولن الکتریسته ضمن انتقال از يك نقطه به نقطه دیگر  $W$  ژول کار انجام دهد کار حاصل از انتقال يك کولن  $\frac{W}{Q}$  است و این کار برابر اختلاف پتانسیل میان آن دو نقطه است که به  $V$  نمایش داده می شود. یعنی:

$$V = \frac{W \text{ (ژول)}}{Q \text{ (کولن)}} \quad (2-3)$$

در صورتی که  $W = 1J$  و  $Q = 1C$  باشد  $V = 1V$  است یعنی:

$$1V = \frac{1J}{1C} \quad (3-3)$$

پرسش ۳ - ۸ - اگر بار الکتریکی  $Q = 1.6 \times 10^{-19}$  کولن از نقطه  $A$  به نقطه  $B$  که اختلاف پتانسیل بین آن دو نقطه ۱۰۰ ولت است برود کار حاصل از انتقال آن چند ژول است؟

به طول بی نهایت و به سطح مقطع بی نهایت کوچک که در خلاف به فاصله يك متر از یکدیگر قرار گرفته باشند بگذرد روی هر يك از دو سیم نیرویی برابر  $2 \times 10^{-7}$  نیوتن بر هر متر از طول آنها وارد شود. مقدار الکتریسته - چون جریان الکتریسته در يك مدار به معنی عبور الکتریسته از آن مدار است، مقدار الکتریسته ای که در هر نقطه از مدار می گذرد، بستگی به شدت جریان و زمان عبور جریان دارد.

واحد مقدار الکتریسته در دستگاه بین المللی واحدها کولن<sup>۱</sup> است که با علامت اختصاری  $C$  نمایش داده می شود.

يك کولن بنا به تعریف مقدار الکتریسته ای است که جویانی به شدت يك آمپر در مدت يك ثانیه در هر نقطه از مقطع مدار عبور دهد.

بنابراین برای تعیین مقدار الکتریسته کل  $Q$  (بر حسب کولن) که در هر نقطه از مدار از مقطع آن می گذرد کافی است شدت جریان  $I$  (بر حسب آمپر) را در زمان عبور جریان  $t$  (بر حسب ثانیه) ضرب کرد:

$$Q = I \cdot t \quad (1-3)$$

(ثانیه) (آمپر) کولن

اگر زمان  $t$  بر حسب ساعت منظور شود  $Q$  بر حسب آمپر ساعت که يك واحد فرعی است بیان می شود.

پرسش ۳-۶ - يك آمپر ساعت برابر چند کولن است؟  
پرسش ۳-۷ - اگر در نظر بگیرید که بار

کاری که در اثر عبور الکتریسته در مدار انجام می شود توسط مولد تأمین می گردد و عامل آن نیروی محرکه مولد است. نیروی محرکه چنان که گفتیم با واحد ولت اندازه گرفته می شود و برابر انرژی است که مولد به واحد بار الکتریکی (یک کولن الکتریسته) می دهد تا در مدار جریان یابد.

**پرش ۳-۹-** این انرژی در مولد چگونه تأمین می شود؟

**پرش ۳-۱۰-** با توجه به مفهوم «نیروی محرکه» به نظر شما آیا این نام درست و مناسب انتخاب شده است؟

**۳- مقاومت الکتریکی-** ضمن مطالعه فصل ۲ آزمایشی را انجام دادید که به وسیله آن رسانایی و نارسانایی، یا به عبارت دیگر، قابلیت هدایت الکتریکی بعضی از مواد با هم مقایسه می شد و نتیجه گرفتید که مواد را می توانید بر حسب درجه رسانایی یا نارسانایی شان رده بندی کنید.

وقتی که گفتگو از عبور جریان الکتریسته از یک جسم به میان می آوریم معمولاً به این می اندیشیم که آن جسم تا چه اندازه در مقابل عبور جریان یا حرکت الکترون ها، مقاومت از خود نشان می دهد. به طور کلی، هر ماده ای که الکتریسته را بهتر هدایت کند یعنی رسانای بهتری باشد دارای مقاومت الکتریکی کمتر است و هر چه رسانای ضعیف تری باشد مقاومتش در برابر عبور جریان برق بیشتر است. موادی که برای الکتریسته ساکن نارسانای خوب باشند در برابر جریان برق هم نارسانای خوب خواهند بود.

**قانون اهم-** در سال ۱۸۲۶ میلادی اهم که معلم فیزیک در شونرکن در آلمان بود کتابی منتشر

کرد که در آن آزمایش هایی را درباره تحقیق رابطه بین شدت جریان در یک سیم و اختلاف پتانسیل دو سر آن به تفصیل شرح داده بود. اهم از آزمایش های خود به نتیجه ای رسید که ما امروزه آن را به نام قانون اهم به صورت زیر می شناسیم:

شدت جریانی که در دمای ثابت از یک سیم می گذرد متناسب با اختلاف پتانسیل دو سر آن است. یعنی اگر اختلاف پتانسیل دوسر یک سیم را مرتباً افزایش دهیم در صورتی که دمای سیم ثابت بماند شدت جریان در آن به همان نسبت افزایش می یابد در نتیجه خارج قسمت اختلاف پتانسیل بر شدت جریان ثابت می ماند، یعنی:

$$\text{مقدار ثابت} = \frac{\text{اختلاف پتانسیل}}{\text{شدت جریان}}$$

در صورتی که اختلاف پتانسیل ثابت باشد از سیم بر مقاومت شدت جریان کم و از سیم کم مقاومت شدت جریان زیاد خواهد گذشت. بنابراین، مقدار ثابت در رابطه بالا (که اگر بزرگ باشد دلیل بر کم بودن شدت جریان و اگر کوچک باشد دلیل بر زیاد بودن شدت جریان است) در واقع همان مقاومت الکتریکی سیم است، یعنی:

$$(۴-۳) \text{ مقاومت} = \frac{\text{اختلاف پتانسیل}}{\text{شدت جریان}}$$

به عبارت دیگر: مقاومت الکتریکی یک سیم برابر خارج قسمت اختلاف پتانسیل دو سر آن بر شدت جریانی است که از آن سیم می گذرد.

**اهم واحد مقاومت الکتریکی-** واحد مقاومت الکتریکی اهم نام دارد. با توجه به تعریف های ولت و آمپر (واحدهای اختلاف پتانسیل و شدت جریان) و به کمک تعریفی که در بالا برای مقاومت

الکتریکی بیان شد، اهم (واحد مقاومت الکتریکی) چنین تعریف می‌شود:

اهم مقاومت الکتریکی يك دمانا است که اگر به دو سر آن اختلاف پتانسیل يك ولت برقرار شود از آن جریان يك آمپر بگذرد.

$$\text{اهم} = \frac{\text{ولت}}{\text{آمپر}}$$

اگر مقاومت الکتریکی را به حرف  $R$  نمایش دهیم رابطه (۳-۴) با استفاده از علامتهای اختصاری

$$\text{چنین نوشته می‌شود: } \frac{V}{I} = R \text{ یا } I = \frac{V}{R}$$

$$\begin{array}{ccc} V & = & I \quad R \\ \downarrow & & \downarrow \quad \downarrow \\ \text{(ولت)} & & \text{(آمپر)} \cdot \text{(اهم)} \end{array} \quad \text{یا (۳-۵)}$$

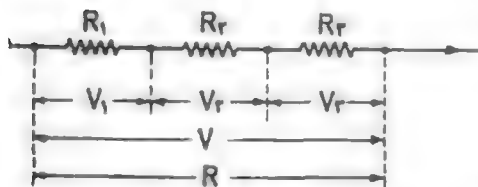
افزایش دما کاهش می‌یابد. مقاومت آلیاژهایی مانند کنستانتان و مانگانبین در شرایط عادی خیلی کم با دما تغییر می‌کند. به همین جهت این آلیاژها را برای ساختن مقاومت‌های استاندارد به کار می‌برند.

پرش ۳-۱۲- آیا مقاومت يك لامپ چراغ برق معمولی، هنگامی که روشن است با وقتی که خاموش است تفاوت دارد؟

علاوه بر دما، عوامل فیزیکی دیگری نیز سبب تغییر مقاومت الکتریکی اجسام می‌شود. مثلاً اگر بعضی از رساناها را خم کنند یا آنها را از دو طرف بکشند یا عمود بر میدان مغناطیسی قوی قرار دهند مقاومت آنها تغییر می‌کند.

### به هم بستن مقاومتها

مقاومتها را بنا به احتیاجی که در کاربرد آنها بیش می‌آید می‌توان به طور متوالی یا به طور موازی به هم بست و در مدار جریان برق قرارداد. الف- مقاومت‌های متوالی- اگر چند مقاومت مانند  $R_1$  و  $R_2$  و  $R_3$  یکی به دنبال دیگری بسته شود به طوری که از همه آنها شدت جریان  $I$  بگذرد می‌گوییم که مقاومتها به طور متوالی به هم بسته شده‌اند (شکل ۳-۶).



شکل ۳-۶- مقاومت‌های متوالی

اگر  $R$  نمایش مقاومت کل مجموع این مقاومتها، به عبارت دیگر مقاومت معادل مجموعه و  $V$  نمایش

(رابطه اخیر برای به خاطر سپردن مناسب‌تر است)

پرش ۳-۱۱- اگر به دو سر سیمی که مقاومت آن ۱۰ اهم است اختلاف پتانسیل ۶ ولت برقرار شود چه شدت جریانی از آن سیم خواهد گذشت؟

اثر دما بر مقاومت الکتریکی- مقاومت الکتریکی فلز خالص با افزایش دما افزایش می‌یابد.

مثلاً اگر مقاومت الکتریکی يك قطعه سیم از جنس فلز خالص در دمای صفر درجه سلیوس  $R_0$  باشد مقاومت آن در دمای  $\theta^\circ$  تقریباً از رابطه زیر حساب می‌شود:

$$R = R_0(1 + \alpha\theta)$$

$\alpha$  ضریبی که بستگی به جنس فلز دارد و در حدود

$$\frac{1}{200} = 0.005 \text{ است.}$$

مقاومت بعضی از مواد رسانا مانند کربن، با

اختلاف پتانسیل دو سر آنها باشد داریم:

$$V = IR$$

ولی اختلاف پتانسیل  $V$  برابر مجموع اختلاف

پتانسیل‌های دو سر هریک از مقاومت‌های  $R_1$  و  $R_2$  و  $R_3$  است. یعنی:

$$V = V_1 + V_2 + V_3$$

$$IR = IR_1 + IR_2 + IR_3$$

پس از حذف  $I$  از دو طرف این معادله نتیجه

می‌شود که:

$$R = R_1 + R_2 + R_3 \quad (3-6)$$

یعنی وقتی که مقاومت‌ها به طور متوالی به هم

بسته می‌شوند مقاومت معادل مجموعه برابر مجموع

مقاومت‌هایی است که به دنبال هم بسته شده‌اند.

ب- مقاومت‌های موازی- مقاومت‌ها را در

صورتی موازی می‌گویند که هر یک از آنها بین دو

نقطه از یک مدار بسته شود. شکل ۳-۷ سه مقاومت

$R_1$  و  $R_2$  و  $R_3$  را نشان می‌دهد که به طور موازی

بین دو نقطه بسته شده‌اند. بدیهی است اختلاف پتانسیل دوسر همه آنها یکی است ولی جریان کل مدار، بین آنها تقسیم می‌شود.

فرض کنیم  $I$  شدت جریان کل، به  $I_1$  و  $I_2$  و

$I_3$  به ترتیب در  $R_1$  و  $R_2$  و  $R_3$  تقسیم شود و

$V$  اختلاف پتانسیل مشترک دو سر آنها باشد. اگر

مقاومت معادل این مجموعه را به  $R$  نمایش دهیم

طبق قانون اهم خواهیم داشت:

$$V = IR$$

$$I = I_1 + I_2 + I_3 \quad \text{چون:}$$

$$\frac{V}{R} = \frac{V}{R_1} + \frac{V}{R_2} + \frac{V}{R_3} \quad \text{بنابراین:}$$

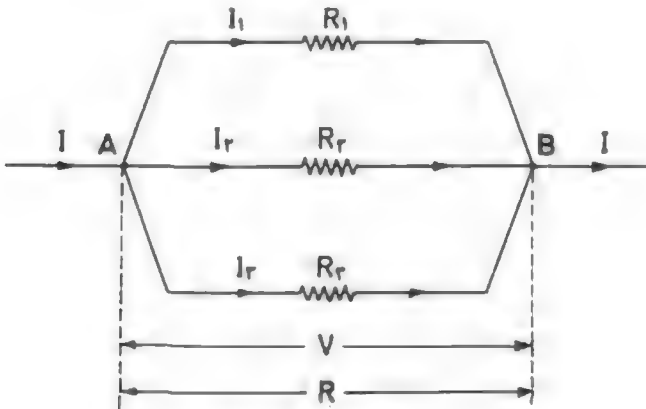
با حذف  $V$  از دو طرف این رابطه نتیجه می‌-

می‌شود که:

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \quad (3-7)$$

عکس مقاومت الکتریکی، یعنی  $\frac{1}{R}$  را هدایت

الکتریکی «یا» کندوکنانس «می‌نامند. رابطه



شکل ۳-۷- مقاومت‌های موازی

۷-۳ نشان می‌دهد که وقتی مقاومتها به طور موازی به هم بسته می‌شوند کدو کتانس معادل مجموعه (یا عکس مقاومت معادل مجموعه) برابر مجموع کدو کتانسهای مقاومتهاست.

در نظر داشته باشید که وقتی چند مقاومت به طور موازی بسته می‌شوند مقاومت معادل، کوچکتر از هر یک از آن مقاومتهاست. مثلاً اگر سه مقاومت مساوی را به طور موازی به هم ببندیم مقاومت معادل برابر  $\frac{1}{3}$  مقاومت هر یک از آنها خواهد بود. پروس ۳-۱۳- چگونه می‌توان عمل تشخیص داد که شدت جریان کل I برابر مجموع شدتهای  $I_1$  و  $I_2$  و  $I_3$  است؟

پروس ۳-۱۴- اگر دو مقاومت  $R_1 = 12$  اهم و  $R_2 = 22$  اهم به طور موازی به هم بسته شوند مقاومت معادل آنها چند اهم خواهد بود؟ در حالت خاصی که n مقاومت الکتریکی یکسان هر یک به مقاومت  $R_1$  به طور موازی به هم بسته شوند مقاومت معادل آنها طبق رابطه ۷-۳ برابر است با :

$$R = \frac{R_1}{n}$$

اگر تنها دو مقاومت  $R_1$  و  $R_2$  به طور موازی به هم بسته شده باشند داریم :

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} = \frac{R_2 + R_1}{R_1 R_2}$$

یا :

$$R = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$$

از تقسیم صورت و مخرج آن بر  $R_1 R_2$  نتیجه می‌شود :

$$R = \frac{R_1}{1 + \frac{R_1}{R_2}}$$

در حالتی که مقاومت  $R_1$  در مقابل  $R_2$  بسیار کوچک باشد به طوری که  $\frac{R_1}{R_2}$  در مقابل ۱ ناچیز گردد خواهیم داشت :

$$R \approx R_1$$

یعنی در چنین حالتی مقاومت معادل عملاً برابر مقاومت کوچکتر است .

مثلاً اگر  $R_1 = 0.001$  اهم و  $R_2 = 1$  اهم باشد  $\frac{R_1}{R_2} = 0.001$  است و داریم :

$$R = \frac{0.001}{1.001} \approx 0.001 \Omega$$

### قوانین تجربی جریانهای انشعابی

از مطالقی که در بالا بیان شد نتیجه می‌شود که اگر بین دو نقطه از یک مدار (مثلاً دو نقطه A و B در شکل ۷-۳) جریان الکتریکی میان چند مقاومت پخش شود شدت جریان در هر یک از شاخه‌های انشعاب با مقاومت آن شاخه نسبت عکس دارد .

در شاخه ۱ ، حاصلضرب  $R_1 I_1$  برابر اختلاف پتانسیل میان دو نقطه A و B است . حاصلضربهای  $R_2 I_2$  و  $R_3 I_3$  نیز برابر اختلاف پتانسیل میان همین دو نقطه است که به ترتیب در شاخه‌های ۲ و ۳ انشعاب حساب شده‌اند . چون اختلاف پتانسیل میان دو نقطه A و B برای تمام شاخه‌های انشعابی موجود بین این دو نقطه یکی است خواهیم داشت :

$$V_A - V_B = I_1 R_1 = I_2 R_2 = I_3 R_3 = I R$$

یعنی :

$$V = V_1 + V_2 + V_3 + \dots \quad (9-3)$$

قانون دوم  
کیرشهف

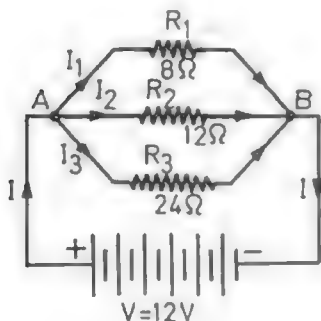
این قانون حالت خاصی از قانون بقای انرژی است .

**یادآوری -** قوانین کیرشهف به صورتی که در

اینجا بیان شده ویژه جریان پیوسته است . این قانونها برای جریان متناوب به این صورت صادق نیستند و تنها موقعی می توان آنها را در مورد این جریان به کار برد که مدار فقط شامل مقاومت معمولی باشد .

برای کاربرد این قانونها اینک به ذکر چند مثال می پردازیم .

**مثال ۱-** سه مقاومت  $R_1 = 8\Omega$  و  $R_2 = 12\Omega$  و  $R_3 = 24\Omega$  به طور موازی به هم بسته شده و مجموعه حاصل با سیمهای بدون مقاومت به دوسریک باتری متصل است (شکل ۸-۳) . ولت سنج اختلاف



شکل ۸-۳ - مثال برای کاربرد قانون اول کیرشهف

این رابطه نشان می دهد که اگر مقاومت  $R$  ( یعنی مقاومت معادل ) به جای مجموعه مقاومت های  $R_1$  و  $R_2$  و  $R_3$  که به طور موازی بین دو نقطه به هم بسته شده اند گذاشته شود از این مقاومت شدت جریان اصلی  $I$  می گذرد و اختلاف پتانسیل میان این دو نقطه تغییر نمی کند .

نتایج حاصل از مطالبی که در چند صفحه اخیر بیان شد به صورت دو قانون به نام « قوانین کیرشهف » خلاصه می شود :

**قانون اول -** مجموع شدتهای جریانی که به هر نقطه اتصال در یک مدار الکتریکی می رسند برابر است با مجموع شدتهای جریانی که از این نقطه خارج می شوند . مثلا در شکل ۳-۷ شدت جریان  $I$  به نقطه اتصال  $A$  می رسد و شدتهای  $I_1$  و  $I_2$  و  $I_3$  از آن خارج می شوند بنابراین :

$$I = I_1 + I_2 + I_3 \quad (8-3)$$

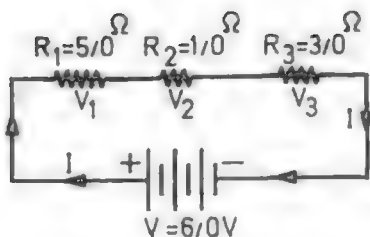
قانون اول  
کیرشهف

این قانون از دید منطق نیز مورد قبول است زیرا اگر جریانی که از یک نقطه اتصال خارج می شود کمتر از جریانی باشد که به آن نقطه می رسد بار الکتریکی در این نقطه به تدریج افزایش می یابد و در نتیجه پتانسیل این نقطه مرتباً تغییر می کند در صورتی که عملاً چنین کیفیتی مشاهده نمی شود .

**قانون دوم -** مجموع اختلاف پتانسیلهای در هر مقاومتها و وسایل الکتریکی دیگری که در یک مدار بسته می شوند برابر اختلاف پتانسیلی است که به دو سر این مدار اعمال می شود .

۱- Gustave Robert Kirchhoff ( ۱۸۲۴-۱۸۸۷ م ) فیزیکدان آلمانی که در

الکتریسیته و نور تحقیقات جالبی انجام داده است .



شکل ۳- سه مقاومتی متوالی در مدار  
برای نشان دادن قانون دوم کیرشهف

— مقاومت معادل مدار برابر است با :

$$R = 5/0 + 1/0 + 3/0 = 9/0 \Omega$$

شدت جریان در مدار

$$I = \frac{V}{R} = \frac{6/0V}{9/0\Omega} = \frac{2}{3} A$$

است. اختلاف پتانسیل‌های دو سر مقاومت‌های  $R_1$  و

$R_2$  و  $R_3$  به ترتیب برابر است با :

$$V_1 = IR_1 = \frac{2}{3} \times 5 = \frac{10}{3} V$$

$$V_2 = IR_2 = \frac{2}{3} \times 1 = \frac{2}{3} V$$

$$V_3 = IR_3 = \frac{2}{3} \times 3 = 2 V$$

مشاهده می‌شود که :

$$V_1 + V_2 + V_3 = \frac{10}{3} + \frac{2}{3} + 2 = 6V = V$$

مثال ۳- چهار مقاومت مطابق شکل ۳-۱۰

به هم متصل شده‌اند. اگر اختلاف پتانسیل میان دو

پتانسیل دو سر باتری را ۱۲ ولت نشان می‌دهد. شدت جریان کل و شدت جریانی که از هر يك از این مقاومتها می‌گذرد چندآمپر است ؟

— نخست مقاومت معادل بین دو نقطه A و B را

حساب می‌کنیم :

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{8} + \frac{1}{12} + \frac{1}{24} = \frac{6}{24}$$

$$R = \frac{24}{6} = 4 \Omega$$

شدت جریان کل برابر است با :

$$I = \frac{V}{R} = \frac{12V}{4\Omega} = 3A$$

شدت جریان در هر يك از مقاومت‌های  $R_1$  و  $R_2$

و  $R_3$  به ترتیب برابر است با :

$$I_1 = \frac{V}{R_1} = \frac{12}{8} = 1/5 A$$

$$I_2 = \frac{V}{R_2} = \frac{12}{12} = 1 A$$

$$I_3 = \frac{V}{R_3} = \frac{12}{24} = 0/5 A$$

مشاهده می‌شود که :

$$I_1 + I_2 + I_3 = 1/5 + 1 + 0/5 = 2A = I$$

مثال ۴- سه مقاومت  $R_1 = 5/0 \Omega$

و  $R_2 = 3/0 \Omega$  به طور متوالی به

هم بسته شده و دو سر مجموعه به دو قطب يك باتری

که می‌تواند اختلاف پتانسیل ۶/۰ ولت به دو سر

این مجموعه برقرار سازد بسته شده است (شکل

۳-۹) با محاسبه نشان دهید که اختلاف پتانسیل دوسر

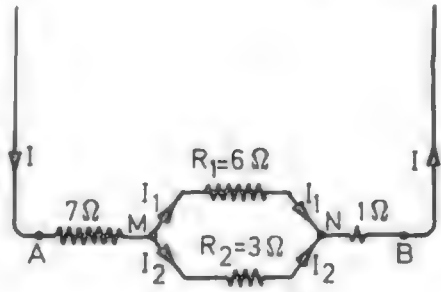
باتری برابر مجموع اختلاف پتانسیل‌های دو سر هر

يك از اجزاء مدار است.



نقطه A و B برابر ۳۰V باشد مطلوبت شدنهای  
جریانی که از این مقاومتها می گذرند .

– ابتدا مقاومت معادل بین دو نقطه M و N را  
حساب می کنیم .



شکل ۳-۱۰- مربوط به مثال ۳ .

$$\frac{1}{R_{MN}} = \frac{1}{6} + \frac{1}{3} = \frac{2}{6}$$

$$R_{MN} = \frac{6}{2} = 3\Omega$$

مقاومت معادل بین دو نقطه A و B برابر است با :

$$R_{AB} = 7 + 2 + 1 = 10\Omega$$

شدت جریان کل I که وارد قسمت AB مدار می شود  
برابر است با :

$$I = \frac{V_{AB}}{R_{AB}} = \frac{30V}{10\Omega} = 3A$$

شدت جریان در هر يك از مقاومتهای  $R_1$  و  $R_2$   
متناسب با عكس آن مقاومت است و به ترتیب زیر  
حساب می شود :

$$I_1 = I \frac{R_{MN}}{R_1} = 3 \times \frac{2}{6} = 1A$$

$$I_2 = I \frac{R_{MN}}{R_2} = 3 \times \frac{2}{3} = 2A$$

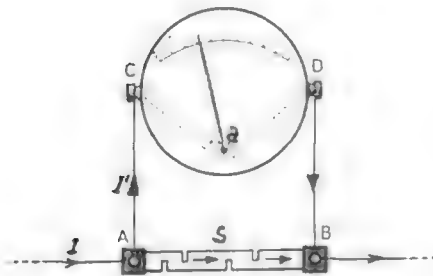
به آسانی مشاهده می شود که اختلاف پتانسیل میان دو  
نقطه A و B برابر مجموع اختلاف پتانسیلای دو  
سر اجزاء مدار است .

## چند نمونه از کاربردهای عملی قوانین جریانهای انشعابی

۱- استفاده از مهار(شنت) در آمپر سنج-

در آمپرسنجهای حساس جریان ضعیفی (که معمولاً جزء  
کوچکی از يك آمپر است) کافی است تا عقربه را از  
صفر به انتهای صفحه مدرج آمپرسنج برساند .  
بنابراین برای اندازه گیری جریان قویتر لازم است که  
جزء معینی از جریان مورد نظر از آمپرسنج بگذرد .  
برای این منظور مقاومت حساب شده ای را که «مهاد»  
(شنت) نامیده می شود به طور انشعاب به دوسر آمپر-  
سنج می بندند (شکل ۳-۱۱) .

اگر مقاومت آمپرسنج و سیمهای رابط (یعنی



شکل ۳-۱۱- آمپرسنج شنت شده

سیمهای AC و BD) را به  $a$  و مقاومت شنت را به  $S$  و مقاومت معادل آمپر سنج شنت شده را به  $R$  نمایش دهیم داریم :

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{a} + \frac{1}{S} \quad (۱۰-۳)$$

از طرف دیگر اگر  $I$  شدت جریان اندازه گیری و  $I'$  شدت جریانی باشد که از خود آمپر سنج می گذرد (و این شدت روی آمپر سنج خوانده می شود) خواهیم داشت :

$$V_A - V_B = I'a = IR$$

$$\frac{a}{R} = \frac{I}{I'} = n \quad \text{در نتیجه: (۱۱-۳)}$$

$n$  عددی است که باید در شدت  $I'$  (که روی آمپر سنج خوانده می شود) ضرب شود تا شدت جریان اندازه گیری  $I$  به دست آید. به همین جهت آنرا «مضرب شنت» گویند. از ترکیب دو رابطه ۱۰-۳ و ۱۱-۳ نتیجه می شود :

$$n = \frac{1}{I'} = a \left( \frac{1}{a} + \frac{1}{S} \right)$$

یا

$$n = \left( 1 + \frac{a}{S} \right) \quad (۱۲-۳)$$

اگر نسبت  $\frac{a}{S}$  معادل ۹ با ۹۹ و . . . انتخاب شود، یعنی مقاومت شنت  $\frac{1}{9}$  با  $\frac{1}{99}$  و . . . مقاومت آمپر سنج باشد (و معمولاً چنین است)  $n$  برابر ۱۰ یا ۱۰۰ و . . . خواهد بود. مقاومت معادل آمپر سنج شنت شده (یعنی  $R$ ) از

رابطه ۱۱-۳ حساب می شود و برابر است با خارج قسمت مقاومت آمپر سنج بر عدد  $n$ .

$$R = \frac{a}{n} \quad \text{یعنی:}$$

۲- استفاده از ولت سنج برای اندازه گیری اختلاف پتانسیل - با ولت سنج اختلاف پتانسیل میان دو نقطه از مدار الکتریکی اندازه گرفته می شود. ولت سنج به همان روش آمپر سنج ساخته می شود ولی با آن تفاوت های اساسی زیر را دارد :

۱- حساسیت ولت سنج بسیار زیاد است به طوری که جریانی به شدت چند میلی آمپر کافی است که عقربه را تا انتهای صفحه مدرج آن منحرف کند. ۲-  $R$  مقاومت آن، خیلی زیاد و ممکن است از ۱۰۰۰۰ اهم بیشتر باشد.

۳- صفحه آن بر حسب ولت مدرج است به طوری که اگر از آن جریان  $I'$  بگذرد حاصل ضرب  $I'R$  روی آن خوانده می شود. بنابراین ولت سنج اختلاف پتانسیلی را که بین دو سر آن برقرار می شود طبق قانون اهم معین می کند.

برای اندازه گیری اختلاف پتانسیل میان دو نقطه A و B يك مدار، ولت سنج را به طور انشعاب بین این دو نقطه می بندند، یعنی دوسر M و N ولت سنج را با سیمهای رابط بدون مقاومت به دو نقطه A و B وصل می کنند (شکل ۱۲-۳).

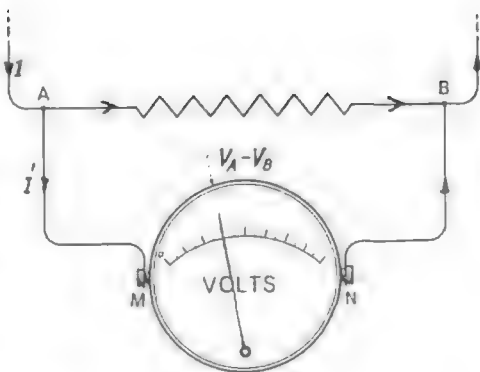
برای این که بستن ولت سنج آشفته گی در مدار ایجاد نکند و اختلاف پتانسیل به درستی اندازه گرفته شود باید شدت جریان  $I'$  که از ولت سنج می گذرد در مقابل

مولد وصل کرد، زیرا شدت جریان زیادی از آن خواهد گذشت و آمپر سنج آسیب خواهد دید. ولت-سنج همان طور که گفته شد به طور موازی به دو سر هر يك از اجزاء مدار بسته می شود و اختلاف پتانسیل میان دو سر آن جزء را مستقیماً معین می کند.

۳- چراغهای برق در خیابانها و وسایل الکتریکی در خانه ها به طور انشعابی به شبکه توزیع برق شهر متصل می شوند. در نتیجه اختلاف پتانسیل دو سر همه آنها یکسان و برابر اختلاف پتانسیل موجود در شبکه (مثلاً ۲۲۰ ولت) است و هر لامپ یا اسباب انرژی مورد لزوم خود را از شبکه می گیرد.

چون هر اسباب به طور مستقل از شبکه برق می-گیرد اگر مدار يك اسباب قطع شود فقط آن اسباب از کار می افتد و جریان برق در بقیه وسایل برقرار خواهد بود.

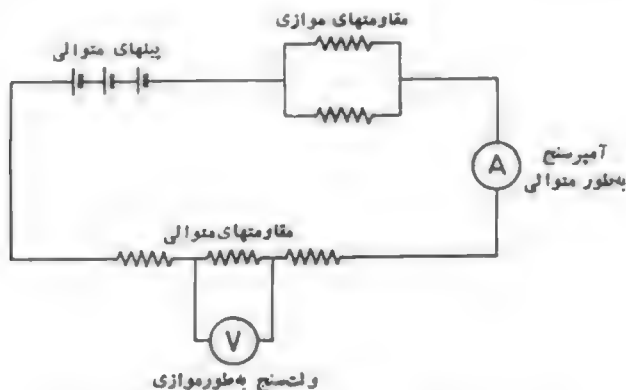
مقاومت الکتریکی يك سیم در دمای ثابت به چه عواملی بستگی دارد؟ هنگام ساختن سیمهای مقاومت دار، سیمهای دراز و باریک را برای مقاومتهای زیاد و سیمهای کوتاه و کلفت را برای مقاومتهای کم به



شکل ۳-۱۲- طرز اتصال ولت سنج برای اندازه گیری اختلاف پتانسیل.

شدت جریان اصلی  $I$  ناچیز باشد و این مستلزم آن است که  $R$  مقاومت ولت سنج در برابر مقاومت بین دو نقطه  $A$  و  $B$  مدار بسیار بزرگ باشد.

در شکل ۳-۱۳ طرز اتصال آمپر سنج و ولت سنج با هم در يك مدار الکتریکی نشان داده شده است. آمپر سنج چنانکه در شکل دیده می شود با اجزاء دیگر مدار به طور متوالی بسته می شود. چون مقاومت آمپر سنج بسیار کم است نباید آنرا مستقیماً به دو سر



شکل ۳-۱۳- استفاده از آمپر سنج و ولت سنج در مدار جریان برق.

کار می‌برند. علاوه بر طول و کلفتی سیم، جنس آن نیز عامل بسیار مؤثری است.

$$R \propto \frac{1}{A} \quad (۲)$$

**مقاومت ویژه** - گنیم که مقاومت الکتریکی سیم با طول آن نسبت مستقیم و با سطح مقطع آن نسبت معکوس دارد. بنابراین از ترکیب دو رابطه (۱) و (۲) نتیجه می‌گیریم که:

$$R \propto \frac{1}{A}$$

برای تبدیل این تناسب به یک تساوی باید طرف دوم آن را در مقدار ثابتی ضرب کنیم. اگر این مقدار ثابت را به  $\rho$  نمایش دهیم خواهیم داشت:

$$R = \rho \frac{1}{A} \quad (۱۳-۲)$$

$\rho$  برای هر سیم مقدار ثابتی است که بستگی به جنس ماده تشکیل دهنده سیم دارد و آن را مقاومت ویژه<sup>۱</sup> ماده تشکیل دهنده سیم می‌نامیم. برای تعیین واحد  $\rho$  در نظر بگیرید که متر  $1 = 1$  و مترمربع  $A = 1$  است. در این صورت:

$$R = \rho \frac{1 \text{ متر}}{1 \text{ مترمربع}} = \frac{\rho}{\text{متر}}$$

بنابراین: اهم متر  $\rho = R$

یعنی «مقاومت ویژه» یک ماده (بر حسب واحد «اهم متر» (با علامت اختصاری  $\Omega m$ ) سنجیده می‌شود و اندازه عددی آن برابر است با مقاومت الکتریکی یک جسم دانا که طول آن یک متر و مساحت سطح مقطع آن یک مترمربع باشد.

اهمتر واحد مقاومت ویژه در دستگاه بین‌المللی واحدهاست ولی در عمل واحد فرعی اهم سانتیمتر

به عنوان مثال، در نظر بگیرید که دو سیم به یک کلفتی و از یک جنس داریم که طول اولی دو برابر طول دومی است. مقاومت الکتریکی اولی هم دو برابر مقاومت الکتریکی دومی است. زیرا سیم اولی که طولش دو برابر است معادل دو رشته سیم دومی است که به دنبال هم (به طور متوالی) بسته شده‌اند. اگر طول سیم اولی را سه یا چهار برابر طول سیم دومی انتخاب کنیم مقاومت آن نیز به همین ترتیب سه یا چهار برابر خواهد شد. بنابراین مقاومت یک سیم متناسب با طول آن است. اگر  $R$  و  $1$  به ترتیب نمایش مقاومت و طول سیم باشند این تناسب را چنین نمایش می‌دهیم:

$$R \propto l \quad (۱)$$

**مقاومت الکتریکی یک سیم با سطح مقطع آن نسبت معکوس دارد**، زیرا هر سیم کلفت‌تر می‌توان مجموعه‌ای از چند سیم نازک یکسان در نظر گرفت که به طور موازی به هم متصل شده‌اند. بنابراین اگر دو سیم هم‌طول و هم‌جنس داشته باشیم که سطح مقطع اولی دو برابر سطح مقطع دومی باشد مقاومت الکتریکی سیم اولی نصف مقاومت سیم دومی است. به همین ترتیب اگر سطح مقطع سه یا چهار برابر باشد مقاومت الکتریکی یک سوم یا یک چهارم خواهد بود.

چنانچه مساحت سطح مقطع سیم را به  $A$  نمایش دهیم متناسب بودن مقاومت الکتریکی سیم با عکس سطح مقطع را می‌توانیم چنین نمایش دهیم:

۱ - در اصطلاح دانش فیزیک  $\rho$  رزستیویته (Resistivity) نامیده می‌شود.

( $\Omega\text{cm}$ ) را نیز به کار می‌برند.

را از مس می‌سازند.

مقاومت ویژه آلیاژها بیشتر از مقاومت ویژه فلزات خالص است. به همین جهت در مواردی که احتیاج به مقاومت الکتریکی زیادتری است از آلیاژها برای ساختن سیمهای مقاومتدار استفاده می‌شود.

در جدول ۱-۳ مقاومت ویژه چند فلز و در جدول ۲-۳ مقاومت ویژه چند آلیاژ در دمای معمولی داده شده است. بعضی از آلیاژها مانند کنستانتان

برش ۱۵-۳- با توجه به این که مقاومت ویژه آلیاژ نیکروم  $110 \times 10^{-8} \Omega\text{cm}$  است مقاومت سیمی از نیکروم به طول یک متر و به سطح مقطع یک میلیمتر مربع چند اهم است؟  
مقاومت ویژه فلزات خالص خیلی کم است. بنابراین، فلزات خالص رساناهای الکتریکی خوبی هستند. از بین فلزات متداول، نقره از همه رساناتر است و مس در ردیف دوم قرار دارد ولی چون نقره گران است سیمهای ارتباط و کابل‌های انتقال الکتریسته

جدول ۱-۳ - مقاومت ویژه چند فلز در دمای معمولی

نام فلز	مقاومت ویژه بر حسب اهم متر	مقاومت یک متر از سیم به سطح مقطع یک میلیمتر مربع بر حسب اهم
نقره	$1/6 \times 10^{-8}$	۰/۰۱۶
مس	۱/۷ —	۰/۰۱۷
آلومینیم	۲/۸ —	۰/۰۲۸
تنگستن	۵/۶ —	۰/۰۵۶
آهن	۹/۶ —	۰/۰۹۶
پلاتین	۱۰ —	۰/۱۰
سرب	۲۲ —	۰/۲۲
جیوه	۹۵ —	۰/۹۵

جدول ۲-۳ - مقاومت ویژه چند آلیاژ در دمای معمولی

نام آلیاژ	ترکیب درصد آلیاژ	مقاومت ویژه بر حسب اهم متر
برنج	۶۰٪ تا ۷۰٪ مس ۴۰٪ تا ۳۰٪ روی	$10 \times 10^{-8}$ تا $5 \times 10^{-8}$
کنستانتان	۶۰٪ مس ۴۰٪ نیکل	$50 \times 10^{-8}$
مانگانه	۸۴٪ مس ۱۲٪ منگنز ۴٪ نیکل	$40 \times -$
فرو نیکل	۷۵٪ آهن ۲۵٪ نیکل	$80 \times -$
نیکروم	۸۰٪ نیکل ۲۰٪ کروم	$110 \times -$

میله وارد شده و پس از گذشتن از میله دوباره به مدار برمی گردد. مقاومتی که در مسیر جریان قرار می گیرد بستگی به جای دگمه لغزنده در روی میله دارد.

**پرسش ۲-۱۶** - با مراجعه به شکل ۲-۸ بگویید در چه وضعی از دگمه لغزنده رنوستای بیشترین مقاومت خود را دارد.

در ساختن وسایل الکتریکی مانند رنوستا به کار می روند. بعضی دیگر مانند مانکنین<sup>۱</sup> برای ساختن مقاومتهای دقیق و استاندارد شده مورد استفاده قرار می گیرند. آلایژ نیکروم<sup>۲</sup> در ساختن سیمهای مقاومستار اتو و اجاق الکتریکی به کار می رود زیرا این آلایژ هنگامی که در اثر گرما سرخ می شود کمتر اکسید می گردد.

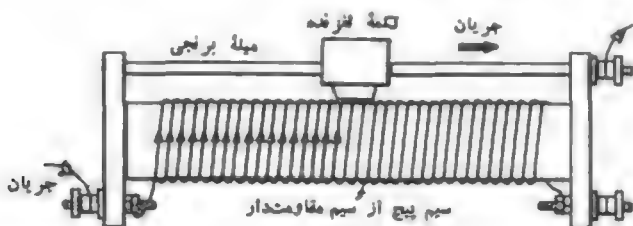
## مقاومت درونی يك مولد و اهمیت آن در

### عمل

شدت جریانی که از يك پیل یا از يك انباره گرفته می شود علاوه بر نیروی محرکه پیل یا انباره به مقاومت درونی آن نیز بستگی دارد. از يك مولد، که نیروی محرکه آن مشخص است، در صورتی می توان شدت جریان قوی گرفت که مقاومت درونی آن تا حدی که ممکن است کم باشد. برای کم کردن مقاومت درونی پیل یا انباره سطح الکترودهای آن را تا ممکن است بزرگ می سازند و الکترودها را نزدیک به هم قرار می دهند و غلظت الکترولیت را نیز طوری انتخاب می کنند که مقاومت ویژه آن تا حد امکان کم باشد.

## رنوستا

برای کم یا زیاد کردن شدت جریان در يك مدار می توان طول يك سیم مقاومت دار را که در مدار قرار دارد تغییر داد. این کار به کمک اسبابی به نام رنوستا انجام می شود. رنوستا را به شکلهای گوناگون می سازند. شکل ۲-۱۲ متداولترین نوع آن را که در آزمایشگاهها به کار می رود نشان می دهد. این نوع رنوستا از يك سیم کستانتان دراز که به شکل سیم پیچ روی استوانه ای از ماده نارسا پیچیده شده تشکیل یافته است و دگمه فلزی لغزنده ای که بر روی يك میله برنجی می لغزد با سیم پیچ تماس دارد. جریان الکتریسته از يك سر سیم پیچ وارد آن می شود و از جایی که دگمه با سیم پیچ تماس دارد به



شکل ۲-۱۲ - رنوستای متداول در آزمایشگاه

۱ - Manganin

۲ - Nichrome

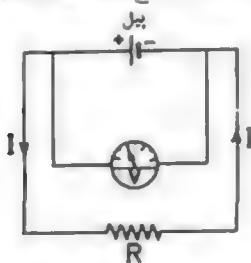
به علت زیاد بودن مقاومت درونشان شدت جریان حاصل از آنها کافی نخواهد بود و نمی‌توان با این مجموعه موتور اتومبیل را به کار انداخت.

**پوشش ۳-۱۷-** اگر مقاومت درونی هر پیل خشک يك اهم و نیروی محرکه هر يك  $\frac{1}{5}$  ولت باشد بیشترین شدت جریانی که از يك باتری مرکب از ۸ پیل خشک می‌توان گرفت چند آمپر است؟

**افت پتانسیل وقتی که از پیل جریان گرفته می‌شود**

در آغاز این بخش ضمن تعریف نیروی محرکه پیل گفتیم که در عمل برای تعیین نیروی محرکه يك پیل ولتسنجی را که مقاومت آن خیلی زیاد است مستقیماً به دو قطب پیل وصل می‌کنند (شکل ۳-۱۵-الف) آنچه که ولتسنج در این حالت نشان می‌دهد خیلی نزدیک به نیروی محرکه پیل است.

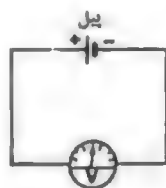
**پوشش ۳-۱۸-** چرا آنچه که ولتسنج در این حالت نشان می‌دهد درست برابر نیروی محرکه واقعی پیل نیست ولی خیلی نزدیک به آن است؟ فرض کنید ولتسنج به دو قطب يك پیل لکلانسه



ب- وقتی که دو قطب پیل با يك مقاومت به هم متصل می‌شود، به علت عبور جریان از درون مولد، اختلاف پتانسیل دو سر مولد افت پیدا می‌کند، ولتسنج ولت کمتری را نشان می‌دهد.

مقاومت درونی يك پیل لکلانسه در حدود يك یا دو اهم و نیروی محرکه آن  $\frac{1}{5}$  ولت است. اگر دو قطب چنین پیلی را با يك سیم کلفت مسی که مقاومت آن ناچیز است به هم وصل کنیم، شدت جریان در سیم و در پیل  $\frac{1}{5}$  یا  $\frac{1}{75}$  آمپر است و چنین جریانی بی‌خطر است. حال فرض کنید دو قطب يك انباره سربی که نیروی محرکه آن ۲ ولت و مقاومت درونی آن ۰/۰۱ اهم است با سیم کلفت مسی به هم متصل شود، شدت جریانی که از سیم و انباره می‌گذرد ۲۰۰ آمپر است. این جریان خیلی خطرناک است؛ سیم را آنجا ذوب و بخار می‌کند و به انباره هم صدمه می‌زند.

در اتومبیلها، معمولاً، از يك باتری ۱۲ ولتی (مرکب از شش واحد انباره سربی) استفاده می‌شود. زیرا برای به کار انداختن موتور (به وسیله اسارت) شدت جریان زیادی لازم است و این شدت را باتری سربی که مقاومت درونی آن خیلی کم است تأمین می‌کند. ولی اگر به جای باتری سربی از هشت پیل خشک که نیروی محرکه مجموع آنها (وقتی که به توالی هم بسته شوند) ۱۲ ولت است استفاده شود



اقتصاد ولتسنجی که مقاومت آن خیلی زیاد است تقریباً نیروی محرکه پیل را نشان می‌دهد (شدت جریان در آن ناچیز است).

که مقاومت درونی آن دو اهم است وصل شده و ۱/۵ ولت را نشان می‌دهد. این عدد تقریباً معادل نیروی محرکه پیل است.

حال اگر بدون آن که ولتسنج برداشته شود يك مقاومت مثلاً ۳ اهمی به دو سر پیل بسته شود (شکل ۳-۱۵) به طوری که از آن جریان بگذرد ولتسنج به جای ۱/۵ ولت ۰/۹ ولت را نشان خواهد داد. یعنی اختلاف پتانسیل بین دو قطب پیل به اندازه  $0.9 = 1.5 - 0.6$  ولت افت نشان می‌دهد. علت این افت را می‌توان چنین بیان کرد: شدت جریان در مدار از رابطه زیر حساب می‌شود:

$$\text{نیروی محرکه} = \text{شدت جریان} \times \text{مقاومت کل}$$

$$I = \frac{E}{R + r} \quad \text{یا} \quad (3-14)$$

که در آن  $E$  نیروی محرکه مولد و  $R$  مقاومت خارجی مدار و  $r$  مقاومت درونی پیل است. در مثال بالا:  $I = \frac{1.5}{3 + 2} = 0.38$  آمپر بدینیه است اختلاف پتانسیل لازم برای فرستادن جریان  $I = 0.3$  آمپر در مقاومت خارجی  $R = 3$  اهم برابر است با:

$V = IR = 0.97$  و این همان است که ولتسنج (پس از بسته شدن مقاومت  $R$  به دو سر مولد) نشان می‌دهد. چون مقاومت سیمهای رابط، که دو قطب پیل را به دو سر مقاومت  $R$  ارتباط می‌دهند بسیار کوچک و ناچیز است اختلاف پتانسیل دو سر سیمهای رابط هم ناچیز و نزدیک به صفر است.

از طرف دیگر اختلاف پتانسیل لازم برای عبور دادن جریان  $0.3$  آمپر از درون مولد (به

مقاومت  $r = 2 \Omega$ ) برابر است با:

$$\text{مقاومت} \times \text{شدت جریان درونی پیل} = 2 \times 0.3 = 0.6V$$

که در واقع برابر افت پتانسیل یعنی  $E - V$  است. به‌طور خلاصه:

هنگامی که از پیل جریانی گرفته نمی‌شود یعنی وقتی که مدار پیل باز است ولتسنجی که مستقیماً به دو قطب پیل وصل می‌شود تقریباً نیروی محرکه پیل را نشان می‌دهد.

وقتی که دو قطب پیل به دو سر يك مقاومت خارجی  $R$  وصل می‌شود و از این مقاومت جریان  $I$  می‌گذرد، ولتسنج اختلاف پتانسیل  $V = IR$  را که لازم است تا جریان  $I$  را از مقاومت  $R$  عبور دهد نشان می‌دهد. این اختلاف پتانسیل همواره از نیروی محرکه مولد کوچکتر است و تفاضل این دو مقدار، یعنی  $E - V$  افت پتانسیل نامیده می‌شود. افت پتانسیل در واقع معرف اختلاف پتانسیلی است که برای عبور جریان از مقاومت درونی مولد لازم است.

افت پتانسیل را نمی‌توان مستقیماً با ولتسنج اندازه گرفت ولی می‌توان آن را حساب کرد. کافی است نیروی محرکه و اختلاف پتانسیل دو سر مقاومت خارجی را پس از اندازه‌گیری از هم کم کرد و اندازه آن را به دست آورد.

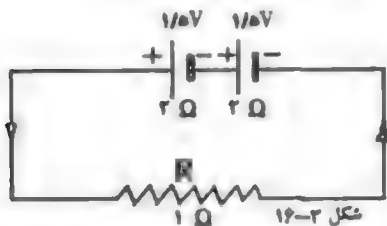
اینک می‌توانیم بگوییم که چرا ولتسنجی که مستقیماً به دو قطب مولد بسته می‌شود مقدار تقریبی نیروی محرکه را نشان می‌دهد. علت این است که هر قدر هم مقاومت ولتسنج زیاد باشد باز، جریان خیلی کمی از آن می‌گذرد و همین جریان کم که از درون پیل می‌گذرد موجب افت بسیار کوچکی در نیروی



$$37 = 1/5 + 1/5 = \text{نیروی محرکه دو پیل متوالی}$$

$$5\Omega = 2 + 2 + 1 = \text{مقاومت کل مدار}$$

$$\frac{3}{5} = 0/6A = \text{شدت جریان}$$



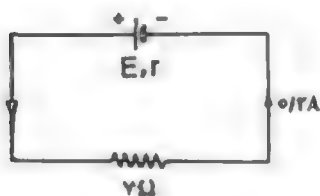
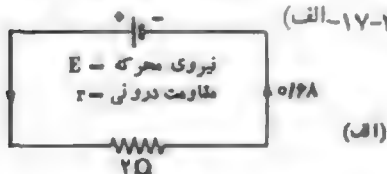
۲- پیل دو پیک مقاومت ۲ اهمی جریانی به شدت ۰/۶ آمپر و دو پیک مقاومت ۷ اهمی جریانی به شدت ۰/۲ آمپر می‌فرستد. نیروی محرکه و مقاومت ددونی این پیل را حساب کنید.

- در این مثال باید دو کمیت نیروی محرکه و مقاومت درونی پیل را حساب کنیم. بنابراین باید دو معادله بنویسیم و آنها را با هم حل کنیم.

اگر نیروی محرکه پیل را به  $E$  و مقاومت خارج را به  $R$  و مقاومت درونی پیل را به  $r$  نمایش دهیم طبق رابطه  $E = I(R + r)$  داریم:

$$E = 0/6(2 + r) \quad (۱)$$

(شکل ۳-۱۷ الف)



شکل ۳-۱۷

محرکه مولد می‌شود. اگر مقاومت و لتسج نسبت به مقاومت درونی پیل خیلی بزرگ باشد شدت جریان خیلی کم و در نتیجه افت پتانسیل ناچیز است.

وقتی که پیلها را به طور متوالی به هم می‌بندند (یعنی قطب مثبت یکی را به قطب منفی دیگری وصل می‌کنند) یک باتری حاصل می‌شود که نیروی محرکه آن برابر مجموع نیروهای محرکه پیلها و مقاومت درونی آن نیز برابر مجموع مقاومت‌های درونی پیلها می‌باشد. اگر مقاومت درونی هر یک از پیلها زیاد باشد و از مولد جریان نسبتاً زیادی گرفته شود افت پتانسیل قابل توجه است.

اگر  $n$  پیل یکسان را که هر یک دارای نیروی محرکه  $E$  و مقاومت درونی  $r$  است به طور متوالی به هم بیندیم و دو قطب باتری حاصل را به دو سر مقاومت  $R$  وصل کنیم شدت جریان در مدار از رابطه زیر حساب می‌شود:

$$I = \frac{nE}{R + nr} \quad (۳-۱۵)$$

زیرا نیروی محرکه مجموعه  $n$  پیل یکسان متوالی برابر است با  $nE$  و مقاومت درونی مجموعه آنها برابر است با  $nr$ .

چند مثال

۱- دو پیل که هر یک دارای نیروی محرکه  $1/5$  ولت و مقاومت درونی  $2$  اهم است به طور متوالی به هم بسته شده‌اند. اگر قطب‌های این مجموعه با مقاومت یک اهمی به هم اتصال یابند شدت جریان در این مقاومت چند آمپر است؟

- شکل ۳-۱۶ وضع چنین مداری را نشان

می‌دهد.

الف- فرض می‌کنیم  $R_1$  نمایش مقاومت لامپ باشد. مقاومت کل مدار برابر است با:

$$(6 \times 0.1) + 1/4 + R_1 = 2 + R_1$$

نیروی محرکه باتری برابر است با:

$$(6 \times 2) = 12V$$

چون:  $\frac{\text{نیروی محرکه}}{\text{شدت جریان}} = \text{مقاومت کل مدار}$

$$2 + R_1 = \frac{12}{3} = 4 \quad \text{بنابراین:}$$

$$R_1 = 4 - 2 = 2\Omega \quad \text{و}$$

ب- اختلاف پتانسیل دوسر لامپ چنین حساب

$$V_1 = IR_1 = 3 \times 2 = 6V \quad \text{می‌شود:}$$

ج- ولت‌سنجی که به دو قطب باتری بسته

می‌شود اختلاف پتانسیلی را نشان می‌دهد که لازم

است تا جریانی به شدت ۳ آمپر در مقاومت خارجی

مدار (که برابر  $3/4 = 2 + 1/4$  اهم است) برقرار

سازد. بنابراین طبق رابطه  $V = IR$  خواهیم داشت:

$$V = 3 \times 3/4 = 10/2V$$

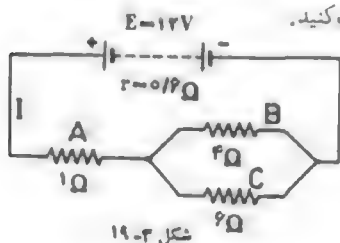
۴- شکل ۱۹-۳ یک باتری ۱۲ ولتی (نشان

می‌دهد که مقاومت درونی آن  $0.6$  اهم است و دو

قطب آن به سه مقاومت  $A$  و  $B$  و  $C$  متصل شده

است. شدت جریان را در هر یک از این مقاومتها

حساب کنید.



شکل ۱۹-۳

- مقاومت معادل دو مقاومت  $B$  و  $C$  چنین

حساب می‌شود:

$$E = 0.2(V + r) \quad (2)$$

(شکل ۱۷-۳ ب)

چون طرف اول این دو معادله هر دو یکی

است طرف دوم آنها را نیز مساوی هم می‌گیریم:

$$0.6(2 + r) = 0.2(V + r)$$

$$1/2 + 0.6r = 1/4 + 0.2r$$

$$0.4r = 0.2$$

$$r = \frac{0.2}{0.4} = 0.5\Omega \quad \text{با:}$$

این مقدار را در معادله (۱) قرار می‌دهیم و

$E$  را حساب می‌کنیم:

$$E = 0.6(2 + 0.5) = 1.5V$$

بنابراین نیروی محرکه پیل  $1.5$  ولت و مقاومت

درونی آن  $0.5$  اهم است.

۳- هر پیل که هر یک دارای نیروی محرکه ۲

ولت و مقاومت درونی  $0.1$  اهم است به طور متوالی

به هم بسته شده و یک باتری تشکیل داده‌اند. به دو

قطب این باتری، یک آمپرسنج به مقاومت ناچیز

و یک مقاومت  $1/4$  اهمی و یک لامپ کوچک (مطابق

شکل ۱۸-۳) به طور متوالی بسته شده است و

آمپرسنج شدت جریان ۳ آمپر را نشان می‌دهد.

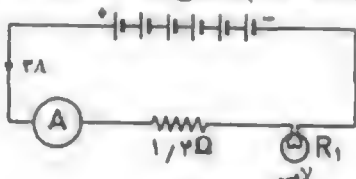
الف- مقاومت لامپ را حساب کنید.

ب- اختلاف پتانسیل دوسر لامپ را پیدا کنید.

ج- اگر در این حالت ولت‌سنجی که مقاومت

درونی آن خیلی زیاد است به دو قطب باتری بسته

شود چه اختلاف پتانسیلی را نشان خواهد داد؟



شکل ۱۸-۳

= مقاومت معادل  $\times$  شدت جریان کل

$$3 \times 2/4 = 7/27$$

$$B \text{ مقاومت} = \frac{\text{اختلاف پتانسیل}}{\text{مقاومت}} = \text{شدت جریان در مقاومت } B$$

$$\frac{7/2}{3} = 1/8A$$

$$C \text{ مقاومت} = \frac{\text{اختلاف پتانسیل}}{\text{مقاومت}} = \text{شدت جریان در مقاومت } C$$

$$\frac{7/2}{6} = 1/2A$$

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{6} + \frac{1}{6} = \frac{6+6}{36} = \frac{10}{36}$$

$$R = \frac{36}{10} = 3.6\Omega$$

مقاومت کل مدار برابر است با:

$$0.6 + 1 + 2/4 = 4\Omega$$

= شدت جریان اصلی (در مقاومت A)

$$\frac{12}{4} = 3A \text{ نیروی محرکه}$$

= اختلاف پتانسیل دوسر مقاومت‌های B و C

## خودتان آزمایش کنید

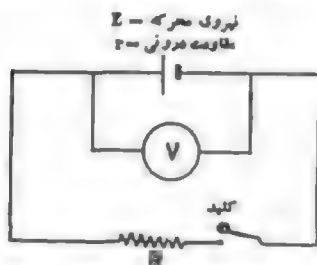
۱) طرزکار يك پیل ساده را بررسی کنید دو تیغه مس و روی را در يك بشر (یا در يك لیوان شیشه‌ای) که در آن محلول اسید سولفوریک خیلی رقیق ریخته‌اید قرار دهید به‌طوری که تیغه‌ها به هم اتصال پیدا نکنند؛ به این ترتیب يك پیل ولتا خواهد داشت. اگر تیغه‌های مس و روی با هم اتصال پیدا نکنند اثری از حبابهای ئیدروژن بر سطح تیغه مس مشاهده نمی‌شود. ولی ممکن است به علت اثر موضعی، بر سطح تیغه روی حبابهای ئیدروژن تشکیل شود. اگر چنین حبابهایی مشاهده شد يك قطره جیوه را با يك تکه پنبه، چنان‌که گفته شد، بر سطح این تیغه بمالید. دو قطب این پیل را به وسیله سیمهای رابط به يك کلید و یک یا دو لامپ کوچک دوولتی وصل کنید و کلید را باز نگاه دارید. سپس ولت سنجی را به دو قطب پیل ببندید. این ولت سنج نیروی محرکه پیل را در حدود يك ولت نشان می‌دهد. کلید را ببندید. لامپ روشن می‌شود ولی روشنایی آن به سرعت ضعیف می‌گردد و در ضمن اختلاف پتانسیل دو سر پیل که روی ولت - سنج خوانده می‌شود کاهش می‌یابد. از لحظه‌ای که کلید را می‌بندید در زمانهای متوالی و مساوی مثلاً هر نیم دقیقه به نیم دقیقه اختلاف پتانسیل دو سر پیل را روی ولت سنج بخوانید و یادداشت کنید تا این که عقربه ولت سنج در وضع نهایی خود ثابت بماند. روی کاغذ شطرنجی یا میلیمتری دو محور عمود برهم رسم کنید و روی محور افقی زمان را و روی محور عمود بر آن اختلاف پتانسیل دو سر پیل را ببرید و نمودار کاهش اختلاف پتانسیل دوسر پیل را با گذشت زمان (یعنی نمودار پلاریزاسیون پیل را) رسم کنید.

برای این که پیل دوباره به کار افتد تیغه مس را از محلول اسید بیرون بیاورید و سطح

آن را با يك قطعه پارچه تمیز یا با يك برس معمولی پاک کنید و دوباره در محلول بگذارید و آزمایش را تکرار کنید (در صورتی که اختلاف پتانسیل دو سر پیل خیلی زود پایین آید به طوری که مجال مطالعه تغییرات آن نباشد به جای لامپ دوولتی مقاومت بزرگتری به دوسر پیل ببندید). در حالی که روشنایی لامپ خیلی کم شده و اختلاف پتانسیل دو سر پیل کاهش یافته است مقدار کمی بیکرومات پتاسیم به محلول اسید اضافه کنید: جابهایی یُدروژن اطراف تیغه مس برطرف می شوند و اختلاف پتانسیل دو سر پیل به وضع اول خود برمی گردد و لامپ روشنی طبیعی خود را باز می یابد. علت را توضیح دهید.

۲) مقاومت درونی يك پیل را اندازه بگیرید. پیل خشك تازه ای را انتخاب کنید و يك ولتسنج به قطبهای آن وصل کنید و درجه ای را که ولتسنج نشان می دهد یادداشت نمایید. آنچه ولتسنج در این حالت نشان می دهد تقریباً نیروی محرکه پیل است. علت انتخاب پیل خشك تازه این است که در مدت آزمایش پلاریزه نمی شود زیرا اگر پیل پلاریزه شود نتیجه مطلوب به دست نخواهد آمد. يك مقاومت استاندارد (مثلاً يك اهمی) را با سیمهای رابط (که مقاومت آنها ناچیز است) به دو قطب پیل اتصال دهید (شکل ۳-۲) و در این حالت اختلاف پتانسیل دو سر پیل را روی ولتسنج بخوانید و یادداشت کنید. این آزمایش را با مقاومت های استاندارد دیگری (مثلاً ۲ و ۳ و ۴ ... اهمی) تکرار کنید و هر بار اختلاف پتانسیل دو سر پیل را روی ولتسنج بخوانید و در جدولی مانند جدول زیر یادداشت کنید:

نیروی محرکه پیل $E = \dots\dots$ ولت		
مقاومت درونی پیل $r = R \frac{E - V}{V}$ (ام)	آنچه ولتسنج نشان می دهد (V) (ولت)	مقاومت R (ام)
		۱
		۲
		۳
		...
		...
..... ام	اندازه میانگین مقاومت درونی	



شکل ۳-۲ - اندازه گیری مقاومت درونی پیل

مقاومت درونی پیل را به ترتیب زیر حساب کنید:

$$E = \text{نیروی محرکه پیل}$$

$V =$  اختلاف پتانسیل بین دو قطب پیل وقتی که در مقاومت  $R$  جریان برقرار شود

$$r = \text{مقاومت درونی پیل.}$$

چون مقاومت ولتسنج خیلی زیاد است شدت جریانی که از آن می گذرد ناچیز است،

بنابراین می توان گفت که شدت جریان در مقاومت خارجی  $R$  و در پیل تقریباً با هم برابر است

$$I = \frac{V}{R} \quad (1) \quad \text{و اندازه آن برابر است با:}$$

$$I = \frac{E - V}{r} \quad (2) \quad \text{یا}$$

$E - V$  افت پتانسیل درون پیل است. به عبارت دیگر اختلاف پتانسیلی است که جریان  $I$

را از درون مولد عبور می دهد. بنابراین:  $\frac{V}{R} = \frac{E - V}{r}$

$$r = \frac{R(E - V)}{V} \quad \text{و از آنجا:}$$

در هر بار آزمایش،  $r$  را از این رابطه حساب کنید و میانگین آنها را به دست آورید.

## به این پرسشها پاسخ دهید

(۱) جریان پیوسته یعنی چه؟ اگر دو کره فلزی که هر دو روی پایه نارسانا قرار دارند و

یکی دارای بار مثبت و دیگری دارای بار منفی است با یک رشته سیم به هم وصل شوند آیا

جریان الکتریسته دائمی در سیم برقرار خواهد شد؟ اگر هر دو کره بار مثبت به مقدار مساوی داشته

باشند آیا در سیم جریان برقرار خواهد شد؟ درباره جوابهای خود توضیح دهید.

(۲) الفب طرز کار یک پیل ساده (مثلاً پیل ولتا) را شرح دهید.

بب در چه صورت یک پیل می تواند جریان پایدار در یک سیم، که دو قطب آن را به

هم وصل می کند، برقرار سازد.

(۳) در یک پیل شیمیایی انرژی که برای ثابت نگاه داشتن اختلاف پتانسیل میان دو قطب

لازم است از کجا تأمین می شود؟

(۴) مداری از یک باتری و یک لامپ و یک کلید تشکیل یافته است:

الفب توضیح دهید چرا وقتی که کلید باز است جریان از مدار نمی گذرد.

بد- وقتی که کلید بسته می شود مسیر کامل و جهت حرکت الکترونها چگونه است؟

ج- جهت قراردادی جریان چیست؟

۵) اصطلاحات «پلاریزاسیون» و «اثر موضعی» را شرح دهید.

چگونه می توان این عیبه را در يك پیل برطرف کرد؟

۶) دو تیغه یکی از مس و دیگری از روی را به وسیله سیمهای رابط کوناه به دو سر يك لامپ الکتریکی کوچک وصل می کنیم و آنها را درون يك بشر، در محلول رقیق اسید سولفوریک می گذاریم لامپ روشن می شود ولی پس از مدت کوتاهی خاموش می گردد. علت را توضیح دهید. در روش را بیان کنید که با به کار بردن آنها بتوان دوباره لامپ را به صورت روشن در آورد.

۷) شکل ساده ای از يك پیل لکلانسه رسم کنید و اجزای آن را شرح دهید.

۸) دوتا از مزیت های انباره سربی بر پیل لکلانسه را نام ببرید.

۹) منظور از برگردن يك انباره سربی چیست؟ وقتی که يك انباره سربی کاملاً پرمی شود، صفحه های قطب مثبت و قطب منفی آن را چه موادی تشکیل می دهند؟ وقتی که انباره خالی می شود جنس این صفحه ها به چه ماده ای تبدیل می گردد؟

۱۰) تعریف نیروی محرکه يك پیل چیست؟

يك باتری از سه انباره سربی ۲ ولتی متوالی و باتری دیگری از چهار پیل خشك ۱/۵ ولتی متوالی تشکیل یافته است. نیروی محرکه هر باتری چند ولت است؟ چرا از باتری سربی شدت جریان زیادتری می توانید بگیرید؟

۱۱) روی کاغذ مبلیمتری (یا شطرنجی) دو محور عمود بر هم بکشید. زمان را روی محور افقی و نیروی محرکه هر واحد انباره سربی را روی محور عمودی ببرید و با توجه به مطالبی که درباره انباره سربی در متن درس آموخته اید نموداری رسم کنید که تغییرات نیروی محرکه انباره را با گذشت زمان، از موقعی که انباره کاملاً پرمی شود تا وقتی که خالی شده تلقی می گردد، نشان دهد.

۱۲) وقتی يك باتری سربی کهنه می شود مقاومت درونی آن افزایش می یابد. در این حالت در بیشترین شدت جریانی که از باتری می توان گرفت و همچنین در اختلاف پتانسیل میان دو قطب باتری چه تغییری روی می دهد؟

۱۳) قانون اهم را بیان کنید. چگونه می توانید با استفاده از این قانون، مقاومت الکتریکی را تعریف کنید؟ با رسم شکل نشان دهید که دو مقاومت را به طور متوالی یا به طور موازی به هم بسته آید.

۱۴) اگر سه مقاومت يك اهمی در اختیار داشته باشید با آنها چه مقاومت هایی را می توانید به دست آورید؟

۱۵) اختلاف پتانسیل دوسر سیمی را به تدریج افزایش می دهیم:

الف- اگر دمای سیم ثابت بماند چه تغییری در جریانی که از سیم می‌گذرد صورت می‌گیرد؟  
ب- در این حالت، نسبت اختلاف پتانسیل به شدت جریان چه نامیده می‌شود؟ آیا این نسبت ثابت است یا تغییر می‌کند؟

۱۶) در میان فلزهایی که می‌شناسید مقاومت ویژه کدام فلز کمتر است؟ از این فلز در چه مواردی استفاده می‌شود؟ فلز با آلیاژی را نام ببرید که مقاومت ویژه آن زیاد است. از این فلز یا آلیاژ در چه مواردی استفاده می‌شود؟

۱۷) فرض کنید که می‌خواهید مقاومت مجهولی را اندازه بگیرید و این وسایل را در اختیار دارید:

یک بیل یا یک انباره سربی، آمپرسنج، ولتسنج، رئوسا، کلید و سیمهای رابط.  
با رسم شکل، طرحی را نمایش دهید که با این وسایل بتوان مقاومت مجهول را اندازه گرفت. آیا روشی را که انتخاب می‌کنید نتیجه دقیق به دست می‌دهد؟  
۱۸) چرا آمپرسنج را کم مقاومت و ولتسنج را پرمقاومت می‌سازند؟  
۱۹) با یک بیل خشک لامپ کوچکی را روشن کرده ایم. اگر به جای این بیل، مولد دیگری قرار دهیم که نیروی محرکه آن برابر نیروی محرکه بیل ولی مقاومت درونش کمتر باشد اختلاف پتانسیل میان دو قطب آن نسبت به اختلاف پتانسیل میان دو قطب بیل:

- ۱- کمتر می‌شود
  - ۲- زیادتر می‌شود
  - ۳- تغییر نمی‌کند
- در باره جواب درست این پرسش توضیح دهید.

۲۵) چند لامپ برو را به طور موازی به دو قطب یک باتری بسته ایم و هر لامپ با کلیدی همراه است. ولتسنجی نیز به دو قطب باتری متصل است. اگر تعداد بیشتری از لامپها را روشن کنیم، اختلاف پتانسیلی که روی ولتسنج خوانده می‌شود:

- ۱- کمتر خواهد شد
  - ۲- بیشتر خواهد شد
  - ۳- تغییر نخواهد کرد
- درباره جواب درست توضیح دهید.

۲۱) لامپی با یک باتری روشن شده است. دانش آموزی که می‌خواهد اختلاف پتانسیل دو سر لامپ را اندازه بگیرد ولتسنج را اشتباهاً به طور متوالی با لامپ در مدار قرار می‌دهد. در این صورت:

الف چه اثری در روشنایی لامپ ظاهر می شود؟

ب- ولتسنج چه ولتی را نشان می دهد؟

(۲۲) به هم بستن موازی و متوالی مقاومتها و خازنها را با هم مقایسه کنید. آیا وجه ناشایی

بین کاپاسیتانس خازن و کندوکتانس مقاومت در این به هم بستنها مشاهده می کنید؟

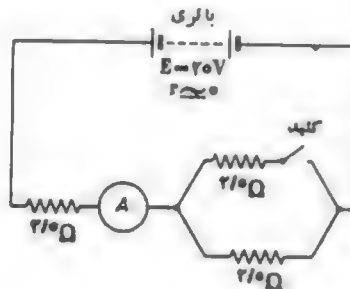
## این مسئله ها را حل کنید

(۱) نیروی محرکه پیل  $1/5$  ولت و مقاومت درونی پیل  $1$  اهم است. این پیل را با

سیمهای بدون مقاومت به دو مقاومت  $2$  اهمی و  $3$  اهمی که به طور متوالی به هم بسته شده اند می بندیم. شدت جریان در مدار را و اختلاف پتانسیل دو سر مجموعه مقاوهندها را حساب کنید.

(۲) در شکل ۲۱-۳ اگر کلید باز باشد آمبرسنج چند آمپر را نشان می دهد؟ اگر کلید

بسته شود آمبرسنج چند آمپر را نشان خواهد داد؟ مقاومت درونی باتری ناچیز است.



شکل ۲۱-۳

(۳) ولتسنجی که مقاومت آن خیلی زیاد است به دو قطب پیل بسته شده است و  $1/5$  ولت

را نشان می دهد. هنگامی که از پیل جریانی به شدت  $0.5$  آمپر گرفته می شود ولتسنج  $1/2$

ولت را نشان می دهد.

الف توضیح دهید چرا ولتسنج در این حالت کمتر از  $1/5$  ولت نشان می دهد.

ب- اگر از پیل جریان  $0.6$  آمپر گرفته شود ولتسنج چه ولتی را نشان خواهد داد؟

(۴) دو مقاومت  $4$  اهمی و  $6$  اهمی را با هم به طور موازی بسته و مجموعه آنها را به

دو قطب یک باتری مرکب از  $4$  پیل خشک  $1/5$  ولتی می بندیم. اگر شدت جریان در مقاومت

$4$  اهمی  $0.6$  آمپر باشد در مقاومت  $6$  اهمی چند آمپر است؟ مقاومت درونی باتری را حساب



کنید. شکل مدار را رسم نمایید.

۵) دو مقاومت ۲ اهمی را اگر به طور موازی به هم بندیم و مجموعه را به دو قطب پیل وصل کنیم شدت جریان کل ۱/۲ آمپر از آنها می گذرد ولی اگر این مقاومتها را به طور متوالی به هم بندیم و به دو قطب پیل وصل کنیم شدت جریان ۰/۴ آمپر از آنها می گذرد. نیروی محرکه پیل و مقاومت درونی آن را حساب کنید.

۶) مقاومت يك رشته سیم به طول ۱۱۰ سانتیمتر و به سطح مقطع  $2-10 \times 4/15$  سانتیمتر مربع ۱/۳۲ اهم است. مقاومت ویژه ماده ای که سیم را تشکیل داده است چند اهم سانتیمتر است؟  
۷) قطر يك سیم مسی يك میلیمتر است. چه طولی از این سیم را باید انتخاب کنیم تا مقاومت آن يك اهم بشود؟

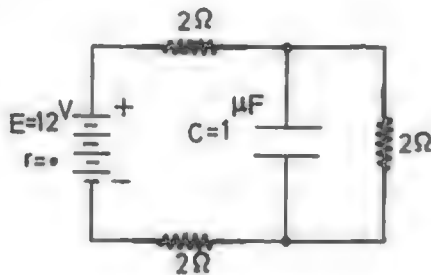
۸) يك میلی آمپرسنج که مقاومت آن ۴۰ اهم است حداکثر تا ۲ میلی آمپر را اندازه می گیرد. هنگامی که حداکثر شدت جریان از آن می گذرد اختلاف پتانسیل دوسر آن چند ولت است؟ چگونه می توان آن را به يك ولت متر تبدیل کرد؟

۹) ولتسنجی حداکثر تا ۱۰ ولت را اندازه می گیرد و مقاومت الکتریکی آن ۱۰۰ اهم است، چگونه می توان این ولتسنج را حداکثر برای سنجش ۱۰۰ ولت به کار برد؟

۱۰) آمپرسنجی حداکثر تا ۱۵ میلی آمپرا را اندازه می گیرد و مقاومت آن ۵ اهم است. می خواهیم با این آمپرسنج جریانی به شدت ۱/۵ آمپرا را اندازه بگیریم و برای این منظور مقاومت کوچکی را به طور موازی به دوسر آمپرسنج می بندیم. در نتیجه جریان اصلی بین این مقاومت و آمپرسنج تقسیم می شود. اندازه این مقاومت چه باید باشد تا عقربه حداکثر انحراف را داشته باشد؟

۱۱) در مدار شکل (۳-۲۲) بار الکتریکی روی خازن  $C = 1 \mu F$  را حساب کنید. مشخصات مدار روی شکل نوشته شده است.

جواب: ۴ میکروکولن



شکل (۳-۲۲)

## پاسخ به پرسشهای متن

۱-۳) می‌توانیم تصور کنیم که یونهای  $Zn^{2+}$  در محلول، جذب یونهای  $SO_4^{2-}$  می‌شوند. از نظر واکنشهای شیمیایی می‌گوییم که روی در محلول اسید سولفوریک حل می‌شود و سولفات روی به دست می‌آید.

۲-۳) تشکیل یک لایه نیدروژن بر سطح تیغه می‌سبب می‌شود که تماس می با الکترولیت به تدریج قطع شود، به عبارت دیگر، الکترود عوض شود یعنی به جای الکترود می، الکترود نیدروژن با الکترولیت در تماس باشد و در نتیجه نیروی محرکه پیل کاهش یابد. علاوه بر این، لایه نیدروژن که نارسانات سبب می‌شود که مقاومت درونی پیل افزایش یابد.

۳-۳) دو راه:

یکی این که مرتباً تیغه می را از الکترولیت بیرون بیاوریم و سطح آن را با پارچه ضخیم یا با برس هالک کنیم. بهیچ‌وجهی است ادامه این کار خسته کننده است و به زحمتش نمی‌ارزد. دوم این که یک جسم اکسید کننده مانند بیکرومات پتاسیم به الکترولیت اسید اضافه کنیم نیدروژن توسط این جسم اکسید شده و آب تولید می‌کند.

۴-۳) بی‌اکسید متنگز سبب می‌شود که نیدروژن اکسید شود و آب تولید گردد. ولی عمل اکسید شدن نیدروژن دائمی نیست و به تدریج نیروی محرکه پیل (به هنگام استفاده از آن) کاهش می‌یابد. برای این که پیل نیروی محرکه اولیه خود را باز یابد باید مدت کوتاهی مدار آن را باز گذاشت.

۵-۳) ۸۵ ساعت.

۶-۳) ۳۶۰۰ کولن. زیرا که یک ساعت ۳۶۰۰ ثانیه است.

۷-۳) اگر تعداد الکترونهای لازم را به  $n$  نمایش دهیم خواهیم داشت:

$$Q = ne = 1C$$

$$n = \frac{1}{e} = \frac{1}{1.6 \times 10^{-19}} = \frac{10^{19}}{1.6} \approx 6.25 \times 10^{18}$$

و

۸-۳) این کاربرد است با:

$$W = VQ = 100V \times 1.6 \times 10^{-19}C = 1.6 \times 10^{-17}J$$

این کار  $10^{11}$ ، یعنی ۱۰۰ میلیارد برابر الکترون ولت است که در بخش ۲ با آن آشنا شدید.

۹-۳) در مولدهای شیمیایی از انرژی شیمیایی حاصل از فعل و انفعالات شیمیایی درون

مولد.

۱۰-۳) نه، زیرا نیروی محرکه مولد در واقع انرژی محرکه مولد است ولی چون از ابتدا چنین نامگذاری شده است این نام به همین صورت تاکنون به کار رفته است.

$$11-3) \quad \frac{6V}{10\Omega} = 0.6A \quad \text{اختلاف پتانسیل} = \text{شدت جریان}$$

۱۲-۳) بلی. موقعی که روشن است مقاومت آن بیشتر است.

۱۳-۳) به وسیله آمپر سنج. نامی است در مدار اصلی و در حرکت از شاخه ها يك آمپر سنج قرار داده شود.

۱۴-۳) مقاومت معادل دو مقاومت  $R_1 = 12\Omega$  و  $R_2 = 24\Omega$  چنین حساب می شود:

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} = \frac{1}{12} + \frac{1}{24} = \frac{2+1}{24} = \frac{3}{24}$$

$$R = \frac{24}{3} = 8\Omega$$

و

$$R = \rho \frac{l}{A} \quad 15-3) \text{ داریم:}$$

$$\rho = 110 \times 10^{-8} \Omega.m \text{ و } A = 1mm^2 = 1 \times 10^{-6} m^2 \text{ و } l = 1m$$

$$R = 110 \times 10^{-8} \times \frac{1}{1 \times 10^{-6}} = 1.1\Omega \quad \text{داریم:}$$

۱۶-۳) وقتی که دگمه لغزنده در قسمت انتهایی طرف راست رنوستا قرار می گیرد و در این حال تمام طول سیم رنوستا در مسیر جریان است.

$$17-3) \text{ داریم:} \quad \text{نیروی محرکه} = \frac{\text{شدت جریان}}{\text{مقاومت کل}}$$

اگر  $E$  نیروی محرکه هر پیل و  $r$  مقاومت درونی آن باشد:

$$\text{نیروی محرکه باتری} = 8E$$

$$\text{مقاومت درونی باتری} = 8r$$

$$I = \frac{8E}{R + 8r} \quad \text{و}$$

( $R$  مقاومت خارجی مدار است.)

شدت جریان در صورتی بیشترین مقدار را دارد که  $R = 0$  باشد یعنی دو قطب باتری

با سیم بدون مقاومت به هم وصل شوند. بنابراین:

$$I_{Max} = \frac{8E}{8r} = \frac{E}{r} = \frac{1/5}{1} = 1/5A$$

۱۸-۳) زیرا مقاومت ولت سنج هر قدر کم برگ باشد باز شدت جریان کمی از آن می گذرد

چون این جریان از درون مولد هم می گذرد موجب افت کوچکی در نیروی محرکه مولد می شود.

## الکترولیز یا تجزیه شیمیایی به وسیله جریان برق

نقش مؤثر الکتریسته در زندگی پیشرفته امروز مدیون آثار شیمیایی و گرمایی و مغناطیسی آن است. الکتریسته در صنایع شیمیایی نقش بزرگ و مؤثری دارد و الکتروشمی بخش مهمی از دانش شیمی را تشکیل می‌دهد. تجزیه مواد شیمیایی به وسیله جریان برق الکترولیز نامیده می‌شود. کشف پدیده الکترولیز نخستین بار توسط یک محقق انگلیسی به نام آنتونی کارلایل<sup>۱</sup> ضمن مطالعه روی پیل ولتا (که نازه خبر اختراع آن منتشر شده بود) صورت گرفت، سپس این محقق با همکاری محقق دیگری به نام ویلیام نیکولسون<sup>۲</sup> آب آغشته به چند قطره اسید سولفوریک را به اکسیژن و هیدروژن تجزیه کرد. چند سال بعد سر - هنری دیوی<sup>۳</sup> با استفاده از این روش، فلزات سدیم و پتاسیم را با عبور دادن جریان برق از نمک‌های مذاب سدیم و پتاسیم به طور خالص به دست آورد. به دنبال کار این دانشمندان تحقیقات فزاینده در این زمینه، منجر به وضع قوانین الکترولیز شد.

در این بخش ما به اختصار به شرح الکترولیز و آثار آن می - پردازیم و در بخشهای بعد آثار گرمایی و مغناطیسی جریان برق را مورد بررسی قرار می‌دهیم.

### اثر شیمیایی جریان برق

هم در سیم و هم در محلول درون پیل برقرار می‌شود در بخش ۳ دیدیم که وقتی دو قطب یک مولد و هنگام گذشتن جریان از محلول، یک رشته واکنشهای شیمیایی با سیمی به هم متصل می‌شود، جریان الکتریسته، شیمیایی صورت می‌گیرد. بنابر این الکتریسته همان

۲- William Nicholson

۱- Anthony Carlisle

۲- Sir Humphry Davy (۱۷۷۸-۱۸۲۹ م) شیمی‌دان و مخترع معروف انگلیسی.

طوره که از مواد جامد رسانا می‌گذرد از بعضی مایعات هم عبور می‌کند و مایعات هم مانند جامدات در مقابل عبور جریان به دو دسته رسانا و نارسانا تقسیم می‌شوند.

عبور الکتریسته از يك مایع همواره با مجموعه‌ای از واکنشهای شیمیایی همراه است و عمل تجزیه شیمیایی به وسیله جریان برق الکترولیز نامیده می‌شود.

**الکترولیز و اصطلاحات آن** - اصطلاحات الکترولیز، در زمان نارادی<sup>۱</sup> دانشمند انگلیسی وضع شده و هنوز هم به کار می‌روند.

ماده‌ای که جریان برق را هدایت کرده و در اثر عبور جریان تجزیه می‌شود، الکترولیت نام دارد. اصطلاح الکترولیت را برای محلول الکترولیت در آب نیز به کار می‌برند.

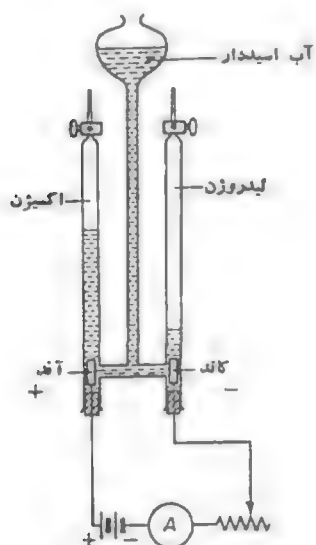
دو تیغه یا دو صفحه‌ای که توسط آنها جریان برق به الکترولیت وارد و از آن خارج می‌شود الکترود نامیده می‌شود. الکترودی که توسط آن جریان وارد الکترولیت می‌شود (آند) و الکترودی که جریان توسط آن از الکترولیت خارج می‌شود (کاتد) نام دارد.

**پروش ۴-۵** - آند و کاتد هریک به کدام قطب مولد ارتباط دارند؟

طرف محتوی الکترولیت را که عمل الکترولیز در آن انجام می‌شود ظرف الکترولیز یا ولتامتر نامند. کلمه ولتامتر را نباید با ولتمتر که وسیله سنجش

اختلاف پتانسیل است اشتباه کرد.

شکل (۴-۱)، يك نوع ولتامتر را نشان می‌دهد که توسط هوفمن<sup>۲</sup> شیمی‌دان آلمانی طرح ریزی شده است و برای جمع‌آوری گازهایی که ضمن عمل الکترولیز



شکل ۴-۱. ولتامتر هوفمن

مایعات مختلف در الکترودها متصاعدمی شوند مناسب است. این ولتامتر دارای دولوله مدرج شیردار است که مجهز به الکترودهای پلاتین هستند. مایع را از مخزنی که وسط دولوله است در ولتامتر می‌ریزند. مثلاً اگر منظور تجزیه آب به گازهای اکسیژن و هیدروژن باشد، ابتدا دو شیر را باز می‌گذارند و آب را که چند قطره اسید سولفوریک به آن اضافه کرده‌اند در مخزن می‌ریزند تا لوله‌ها کاملاً از آب پر شوند سپس شیرها را می‌بندند و جریان را توسط

۱-Michael Faraday (م ۱۷۹۱-۱۸۶۷)

۲- Hofmann

يك باتری و ولتی که با رنوستا به طور متوالی بسته می‌شود در ولتاژ برقرار می‌سازند و شدت جریان را با رنوستا طوری تنظیم می‌کنند که جابجایی اکسیژن و نیدروژن در اطراف الکترودها متعادل شوند. وقتی که گاز اکسیژن و نیدروژن در لوله‌ها جمع شد مشاهده می‌شود که حجم نیدروژن در کاتد تقریباً دو برابر حجم اکسیژن در آن است.

چگونه‌گی عبور جریان از الکترولیت (فرضیه یونی).  
گفتیم که در فلزات عبور جریان الکتریسته فقط به صورت حرکت الکترونهاست که دارای بار منفی هستند ولی در يك الکترولیت عبور جریان به صورت ذرات باردار مثبت و منفی به نام یون است که درون الکترولیت در خلاف جهت یکدیگر حرکت می‌کنند و می‌دانید که یون يك اتم یا مجموعه‌ای از چند اتم است که دارای بار الکتریکی مثبت یا منفی می‌باشد. اینک این پرسش را مطرح می‌کنیم که وقتی يك الکترولیت در آب حل می‌شود چه پدیده‌ای اتفاق می‌افتد؟

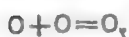
به عنوان مثال سولفات مس را در نظر بگیریم: این ماده از تعداد مساوی یونهای مثبت  $Cu^{2+}$  و یونهای منفی  $SO_4^{2-}$  تشکیل یافته است. در حالت عادی، یونها طوری مرتب شده‌اند که سولفات مس مجموعه‌ای بدون بار الکتریکی است. وقتی که سولفات مس در آب حل می‌شود، بنا به فرضیه آرنیوس<sup>۱</sup>، یونها از هم جدا شده و در محلول الکترولیت، آزادانه به هر طرف حرکت می‌کنند. کلمه «یون» هم در واقع به معنی سرگردان است. الکترولیت‌های دیگر هم

در آب به همین گونه به صورت یون در می‌آیند، به عبارت دیگر یونیزه می‌شوند. مثلاً اسید سولفوریک ( $H_2SO_4$ ) به دو یون مثبت  $H^+$  (H) منهای يك الکترون) و یون منفی  $SO_4^{2-}$  ( $SO_4$ ) به علاوه دو الکترون) و نیترات نقره ( $AgNO_3$ ) به یون مثبت  $Ag^+$  و یون منفی  $NO_3^-$ . آب فقط به مقدار خیلی کم به یونهای  $H^+$  و  $OH^-$  تجزیه می‌شود. به طور کلی می‌توان گفت که همه اسیدها و بازها و نمکهایشان پس از حل شدن در آب به صورت یون در می‌آیند ولی ترکیب‌های مواد آلی مانند قند و الکل و نفتالین در آب یونیزه نمی‌شوند.

وقتی که دو الکترود در الکترولیت قرار داده می‌شود و به باتری متصل می‌گردد یونهای مثبت به طرف کاتد کشیده می‌شوند و به این جهت کاتیون نامیده می‌شوند. یونهای منفی هم جذب آنده می‌گردند و بدین سبب آنیون نامیده می‌شوند. همین جابجاء شدن یونها در دو سوی مخالف هم است که عامل عبور جریان الکتریسته از درون يك الکترولیت می‌باشد. اینک با بیان دو مثال به بررسی واکنشهایی که به هنگام عبور جریان در الکترودها صورت می‌گیرد می‌پردازیم.

۱- الکترولیز آب اسیددار- برای الکترولیز آب اسیددار معمولاً از ولتاژ مترهوفن استفاده می‌شود. آب، چنان که گفتیم، خیلی کم یونیزه می‌شود بنابراین رسانای خوبی نیست. اضافه کردن چند قطره اسید به آب برای این است که تعداد زیادی یون در آب تولید شود و به خوبی رسانا گردد. در آب اسیددار از يك طرف تعدادی یون  $H^+$  و  $OH^-$  است که از تجزیه

در رابطه‌های زیر خلاصه کرد:  $\text{OH}^- - \theta = \text{OH}$



۲- الکترولیز سولفات مس-محلول الکترولیتی

سولفات مس دارای یونهای  $\text{Cu}^{2+}$  و  $\text{SO}_4^{2-}$  حاصل

از تجزیه سولفات مس و یونهای  $\text{H}^+$  و  $\text{OH}^-$  حاصل

از تجزیه آب است. در مدت عمل الکترولیز، یونهای

$\text{Cu}^{2+}$  و  $\text{H}^+$  به سوی کاتد می‌روند ولی فقط یونهای

$\text{Cu}^{2+}$  در کاتد تخلیه می‌شوند و یونهای  $\text{H}^+$  در

محلول باقی می‌مانند یونهای  $\text{Cu}^{2+}$  پس از پی بارشدن،

به صورت اتمهای Cu درآمده روی کاتد می‌نشینند

به همین جهت پس از مدتی، سطح کاتد از یک لایه

قرمز رنگ مس خالص پوشیده می‌شود.

در آند، مانند آنچه در الکترولیز آب اسیددار

اتفاق می‌افتد، یونهای  $\text{OH}^-$  پس از تخلیه بار الکتریکی

خود دو به دو با هم ترکیب شده به صورت آب و

اکسیژن در می‌آیند. اگر آند از جنس پلاتین باشد

در اطراف آن حبابهای اکسیژن متصادم می‌شود و

در صورتی که عمل الکترولیز ادامه یابد تمام یونهای

مس به طرف کاتد رفته و روی آن می‌نشینند. در نتیجه

محلول الکترولیت، کم‌کم رنگ آبی خود را از

دست می‌دهد و به محلول رقیق اسید سولفوریک

تبدیل می‌شود.

پوشش ۳-۴- از این پس عمل الکترولیز

چگونه صورت می‌گیرد؟

ولی اگر آند، یک تیفه مس باشد از این تیمه

یونهای  $\text{Cu}^{2+}$  جدا و وارد محلول می‌شوند تا بار

یونهای  $\text{OH}^-$  یا  $\text{SO}_4^{2-}$  را خنثی کنند. چنانچه عمل

الکترولیز ادامه یابد، آند مسی به تدریج در الکترولیت

حل می‌شود و ضخامت لایه مس در روی کاتد افزایش

مولکولهای آب به وجود می‌آید. از طرف دیگر

تعدادی هم یون  $\text{H}^+$  و  $\text{SO}_4^{2-}$  است که از تجزیه

اسید سولفوریک حاصل می‌شود. وقتی که جریان

برقراری گردد یونهای  $\text{H}^+$  به طرف کاتد می‌روند

و پس از دریافت الکترون از کاتد به صورت اتمهای

بدون بار H در می‌آیند، این اتمها سپس دو به دو

با هم ترکیب شده و به صورت مولکولهای  $\text{H}_2$  در

می‌آیند و دسته دسته از اطراف کاتد به شکل حبابهای

گاز متصادم می‌شوند. مطالب بالا را می‌توان در

رابطه‌های زیر خلاصه کرد ( $\theta$  نمایش الکترون است):



همزمان با حرکت یونهای  $\text{H}^+$  به سوی کاتد،

یونهای  $\text{OH}^-$  و  $\text{SO}_4^{2-}$  نیز به طرف آند می‌روند. در

اینجا فقط یونهای  $\text{OH}^-$  در آند تخلیه می‌شوند،

یعنی الکترونهای زیادی خود را به آند می‌دهند و

بدون بار می‌گردند ولی یونهای  $\text{SO}_4^{2-}$  در محلول

باقی می‌مانند. این تخلیه را تخلیه مرجح یونها نامیده‌اند.

پوشش ۴-۲- با آن که یونهای  $\text{SO}_4^{2-}$  در

اطراف آند بیش از یونهای  $\text{OH}^-$  هستند به نظر

شما علت این که فقط یونهای  $\text{OH}^-$  بار خود را در

آند تخلیه می‌کنند چیست؟

مجموعه‌های OH پس از آن که آزاد شدند

دو به دو با هم ترکیب شده به صورت مولکولهای

آب ( $\text{H}_2\text{O}$ ) و اتمهای اکسیژن (O) در می‌آیند.

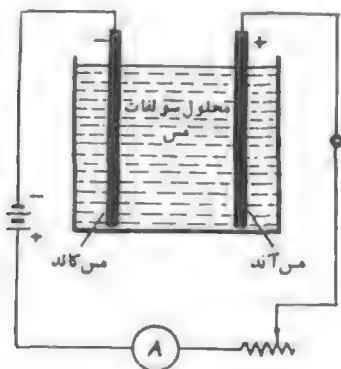
در آخر، اتمهای اکسیژن نیز دو به دو با هم ترکیب

می‌شوند و مولکولهای  $\text{O}_2$  را تشکیل می‌دهند. این

مولکولها دسته دسته به صورت حبابهای گاز اکسیژن از

اطراف آند متصادم می‌شوند. این اعمال را می‌توان

الکترودهای مسی استفاده شود. مدار الکتریکی لازم برای انجام آزمایش، در شکل ۴-۲ نمایش داده شده است. جریانی به شدت ثابت را در مدت معین



شکل ۴-۲ مدار الکتریکی برای تحقیق قانون فارادی

از مدار می گذرانند و اضافه جرم کاتد را که برابر جرم مس آزاد شده در آند است اندازه می گیرند. برای اینکه اضافه جرم کاتد به آسانی و با دقت با ترازو معین شود بهتر این است جرم مسی که روی کاتد رسوب می کند نسبتاً زیاد باشد. برای این منظور آند را معمولاً به صورت دو صفحه مسی انتخاب می کنند و کاتد فقط یک صفحه مسی است که میان دو صفحه آند قرار می گیرد (شکل ۲-۳).

از این ولتاژ می توان جریان زیاد عبور داد، در نتیجه جرم مسی که در زمان معین روی کاتد می نشیند زیاد است. روش آزمایش در پایان این بخش در قسمت «خودتان آزمایش کنید» توضیح داده شده است.

برای تحقیق قانون دوم می توان چند ولتاژ را که در آنها الکترولیت های مختلف مانند نیترات نقره (با الکترودهای نقره) و سولفات مس (با الکترودهای مس) و کلراید نیکل (با الکترودهای نیکل) ریخته

می یابد. در این حالت برخلاف حالت پیش، غلظت سولفات مس در محلول الکترولیت در تمام مدت الکترولیز ثابت می ماند و عمل هنگامی متوقف می شود که تیغه مسی آند به طور کامل در الکترولیت حل شود.

## قانونهای فارادی در الکترولیز

فارادی ضمن انجام یک رشته آزمایش، از الکترولیت های مختلف جریان برق عبور داد و مواد آزاد شده در الکترودها را وزن کرد و از آزمایشهای خود دو قانون زیر را که به نام خود او به قانونهای فارادی یا قوانین کمی الکترولیز معروف است کشف کرد:

**قانون یکم -** جرم ماده ای که در مدت عمل الکترولیز آزاد می شود متناسب با مقدار الکتریسته ای است که از الکترولیت می گذرد.

**قانون دوم -** جرمهای عناصر مختلف که در عمل الکترولیز توسط مقدار الکتریسته معینی آزاد می شوند متناسب با خارج قسمت جرم اتمی آنها بر والانس آنهاست.

خارج قسمت جرم اتمی هر عنصر بر والانس آن را «هم اذ شیمیایی» یا «والانس گرم» نامیده اند. بنابراین قانون دوم فارادی به صورت زیر نیز بیان می شود:

برای آزاد شدن هر والانس گرم از هر عنصر مقدار معینی الکتریسته لازم است که در حدود ۹۶۵۰۰ کولن است.

برای تحقیق قانون یکم از هر نوع ولتاژ می توان استفاده کرد ولی، برای آسانی کار، بهترین است که از یک ولتاژ کمتر محتوی سولفات مس با



آن عنصر برابر جرم اتمی آن است و اگر عنصر دو  
والانسی باشد والانس گرم آن نصف جرم اتمی عنصر  
است . . .

تحقیقات تجربی فارادی نشان داده است که برای  
آزاد شدن يك والانس گرم از هر عنصر تقریباً ۹۶۵۰۰  
کولن الکتریسته لازم است و این مقدار الکتریسته يك  
«فارادی» نامیده می شود .

پوش ۴-۴- به نظر شما آیا موادی که در اثر  
الکترولیز حاصل شوند به ابعاد ظرف الکترولیز یا  
ظفلت الکترولیت و دمای آن بستگی دارند ؟

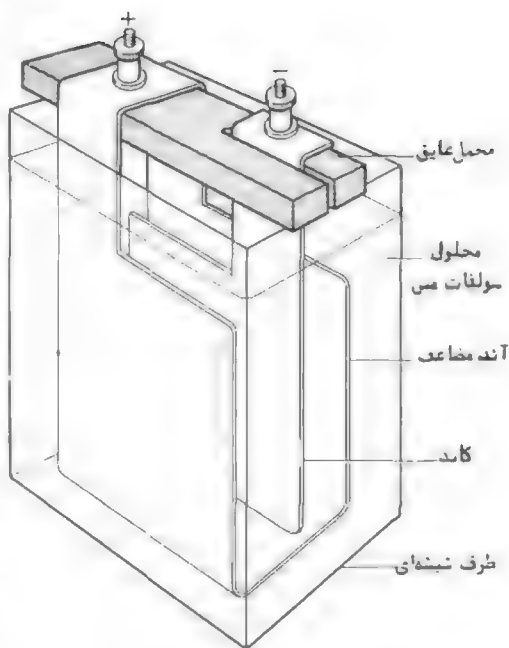
کاربرد قانونهای فارادی در تعیین جرم  
مواد حاصل از الکترولیز

اگر به ازای عبور  $Q$  کولن الکتریسته از  
الکترولیت  $m$  گرم ماده آزاد شود نسبت  $\frac{m}{Q}$  جرم  
ماده ای است که به ازای عبور يك کولن الکتریسته  
آزاد می شود . این نسبت را که برای ماده مورد نظر  
عمواره مقدار ثابتی است «هم ارز الکتروشیمیایی»  
آن ماده گویند .

به طور کلی ، هم ارز الکتروشیمیایی يك ماده  
بنا به تعریف عبارت است از جرمی از ماده که در عمل  
الکترولیز در اثر عبور يك کولن الکتریسته آزاد شود .  
اگر  $\frac{m}{Q}$  را به  $Z$  نمایش دهیم ، جرم  $m$  از يك  
ماده که به ازای عبور  $Q = It$  کولن الکتریسته آزاد  
می شود برابر است با :

$$m = ZQ = Zit \quad (۴-۱)$$

که در آن  $I$  شدت جریان بر حسب آمپر و  
 $t$  مدت عبور جریان بر حسب ثانیه و  $Z$  هم ارز



شکل ۴-۳- ولتاژ برای رسوب مس

شده است به طور متوالی در مدار الکتریکی قرار  
داد و جریان الکتریکی معینی در مدار برقرار کرد و پس  
از زمان معین اضافه وزن کاتد هر يك از ولتاژها را  
تعیین نمود .

فرض کنیم در اثر مقدار معین الکتریسته به اندازه  
۱۰۷/۹ گرم نقره (یعنی يك اتم گرم نقره) از محلول  
نمک نقره آزاد شود ، همین مقدار الکتریسته از محلول  
نمک مس ۳۱/۷۷ گرم مس (یعنی  $\frac{Cu}{۲}$ ) و از محلول  
نمک نیکل ۲۹/۳۵ گرم نیکل ( $\frac{Ni}{۲}$ ) آزاد می کند .

گفتیم که خارج قسمت جرم اتمی هر عنصر بر  
والانس آن والانس گرم ، یا هم ارز شیمیایی نامیده  
می شود . اگر عنصری يك والانسی باشد والانس گرم

الکتروشیمیایی ماده برحسب  $\frac{\text{گرم}}{\text{کولن}}$  و  $m$  جرم ماده آزاد شده برحسب گرم است.

گفتیم برای آزاد شدن يك والانس گرم از هر عنصر در عمل الکترولیز، تقریباً ۹۶۵۰۰ کولن الکتربسته لازم است. اگر جرم اتمی عنصر را به  $A$  و والانس آن را به  $n$  نمایش دهیم والانس گرم عنصر  $\frac{A}{n}$  و هم ارزش الکتروشیمیایی آن  $Z = \frac{A/n}{96500}$  است بنابراین رابطه ۴-۱ را به صورت زیر نیز می توان نوشت:

$$m = \frac{It}{96500} \cdot \frac{A}{n} \quad (2-4)$$

مثال - با توجه به این که جرم اتمی نقره ۱۰۷/۹ گرم و والانس آن ۱ است هم ارزش الکترو - شیمیایی این عنصر برابر است با:

$$Z = \frac{107.9}{96500} = 0.001118 \frac{g}{C}$$

پوش ۴-۵ هم ارزش الکتروشیمیایی مس چقدر است؟

یادآوری - پیش از سال ۱۹۴۸ میلادی کولن (واحد مقدار الکتربسته) بر اساس هم ارزش الکترو - شیمیایی نقره چنین تعریف میشد:

«کولن مقدار الکتربسته ای است که از محلول نترات نقره در آب به اندازه ۱/۱۱۸ میلی گرم نقره روی کاند رسوب دهد» تعریف جدید کولن بر اساس آمپر است که در بخش ۳ آن را دیده اید.

کاربردهای الکترولیز در صنعت یکی از قدیمی ترین موارد کاربرد الکترولیز در صنعت این است که سطح يك فلز معمولی را با يك لایه از فلز گرانبها

پوشانند. این عمل را «آب فزادادن» می نامند و به دو منظور انجام می شود یکی آن که از زنگ زدن فلز معمولی جلوگیری می شود و دیگر آن که سطح فلز جلای بیشتری پیدا می کند. در گذشته بعضی از لوازم خانه مانند تاشق و کارد و چنگال و بعضی از ظروف را از آلیاژ نیکل می ساختند و روی آنها پوششی از نقره می دادند. زمانی دادن آب نیکل بر روی فلزات خیلی متداول بود ولی امروزه به جای آن، اغلب از کروم یا کادمیم استفاده می شود.

عمل الکترولیز در تصفیه مس ناخالص به منظور تهیه مس خالص نقش مهمی دارد. عمل تصفیه در ظرفهای الکترولیز بزرگی که پر از محلول الکترولیتی سولفات مس است انجام می شود. در این ظرفها، صفحه های بزرگ مس ناخالص را به جای آند و ورقه های نازک مس خالص را به جای کاتد قرار می دهند و وقتی که جریان برق از الکترولیت می گذرد مس خالص از آند به کاتد منتقل شده و ناخالصیهای آند پس از پایان تصفیه دور ریخته می شود. مس خالصی که از این راه به دست می آید مس الکترولیتی نام دارد و به سبب خالص بودنش دارای مقاومت ویژه الکتریکی بسیار کم است، به همین جهت، در ساختن کابل های برق به کار می رود. در اینجا باید یادآور شویم که کاربرد الکترولیز در صنعت، منحصر به آنچه که گفته شد نیست بلکه در موارد دیگری هم، مانند تهیه آلومینیم خالص از نمکهای معدنی آلومینیم و تهیه قالبهای اولیه صفحه های گرامافون نیز به کار می رود.

روش تهیه صفحه های گراما فون طولانی و پیچیده است و در این جا ما فقط اشاره مختصری به آن می - کنیم:

برای تهیه صفحه‌های گراما فون تخت ارتعاشات صوتی را روی صفحه‌گردی از آلومینیم که دو طرف آن با لایه‌ای از استات سلولز پوشانیده شده است ثبت می‌کنند و ما این صفحه را بر اساس نامگذاری متداول در صنعت چاپ «صفحه خبر» می‌نامیم. ابعاد صفحه خبر برابر ابعاد صفحه گراما فون است و مانند آن هم عمل می‌کند ولی نباید از آن استفاده صوتی شود.

پس از ثبت ارتعاشات صوتی بر روی صفحه خبرها دقت روی آنرا با لایه نازک و یکنواختی از نقره می‌پوشانند. این کار ممکن است به روشهای شیمیایی یا الکتریکی انجام گیرد. به این ترتیب سطح لایه استات از لحاظ الکتریکی رسانا می‌شود، پس این صفحه را به جای کاتند در ظرف الکترولیز که الکترولیت آن محلول نمک نیکل و آند آن نیکل است قرار می‌دهند تا روی نقره یک لایه نیکل به ضخامت مناسب پوشانیده شود و بعد آن را در ظرف الکترولیز دیگری که محتوی نمک مس و آند مسی است قرار می‌دهند تا روی لایه نیکل لایه ضخیمتری از مس رسوب کند.

پس از این مرحله پوشش فلزی را که شامل لایه‌های نقره و نیکل و مس است به دقت از استات جدا می‌کنند. این پوشش فلزی در حکم «صفحه خبر منفی» است و نمی‌تواند مانند صفحه گراما فون عمل کند زیرا شیارهای روی صفحه خبر استات (که

در اثر ثبت ارتعاشات صوتی به وجود آمده‌اند) در روی صفحه منفی به صورت برجستگی‌هایی نقش شده است.

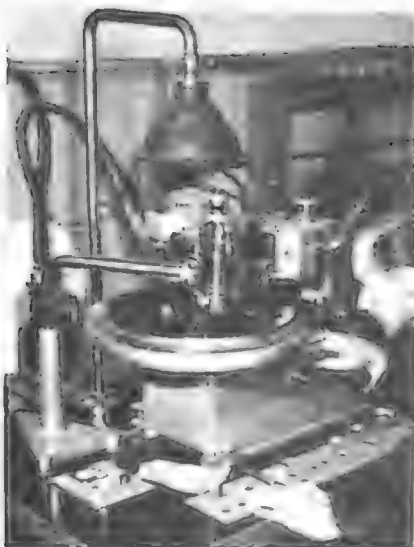
صفحه منفی را از نئومالیا در ظرفهای الکترولیز نیکل و مس قرار می‌دهند تا ابتدا یک لایه نیکل - پس یک لایه مس روی آن رسوب داده شود. با جدا کردن پوشش جدید نیکل - مس از صفحه منفی صفحه دیگری به دست می‌آید که «صفحه مادر» نامیده می‌شود صفحه مادر یک نسخه از صفحه خبر است که همانند آن عمل می‌کند.

در آخرین مرحله، صفحه نیکل - مسی مادر دوباره در ظرفهای الکترولیز قرار داده می‌شود و روی آن به ترتیب پوشش دیگری از لایه‌های نیکل و مس رسوب داده می‌شود. این پوشش نیکل - مسی پس از جدا شدن از صفحه مادر، قالب تهیه صفحه‌های معمولی گراما فون است. این صفحه‌ها توسط یک دستگاه منگنه‌آمی که با بخار آب داغ می‌شود تهیه می‌گردند و «صفحه‌های قالب»، دو سطح بالایی و پایینی منگنه را تشکیل می‌دهند. در نتیجه ارتعاشات صوتی روی هر دو طرف صفحه گراما فون نقش می‌بندد. شکل ۴ - ۴ چند مرحله از تهیه این صفحه‌ها را نشان می‌دهد.

## خودتان آزمایش کنید

هم‌ارز الکترود شیمیایی مس را تعیین کنید - در ظرف شیشه‌ای تمیزی محلول سولفات مس غلیظ بریزید و مقدار کمی هم اسید سولفوریک به آن بیفزایید. دوتیغه مس، یکی به جای کاتد و دیگری به جای آند در این محلول قرار دهید.

پس از برقرار کردن جریان، تیغه کاتد را با کاغذ منباده نرم خوب بسایید و در جریان آبی



الف - دستگاه برش و قالب گیری از روی نوار لاستیک  
بر روی صفحه آلیاژ ( جهت صفحه خنک )



ب - فرم گیری اکروتر ( جهت برش از داخل نعلک و ... )



ج - جدا کردن پوسته قالب از صفحه خنک



د - جهت جدا کردن قالب از صفحه خنک ( جهت نعلک )

که از يك سیم جاری است بشوید تا کاملاً تمیز شود. سپس آن را در جای خود قرارداده و مسطحاً به قطب منفی باتری وصل کنید و بقیه مدار را مطابق شکل ۴-۳ کامل نمایید.

انتخاب مناسب شدت جریان در این آزمایش اهمیت دارد. زیرا اگر شدت جریان کم باشد وزن مسی که در کندانسور رسوب می کند خیلی کم است در نتیجه نمی توان وزن آن را با دقتی که لازم است معین کرد و اگر شدت جریان زیاد باشد، مس به صورت گرد روی کاتد می نشیند و هنگام شستن کاتد، از سطح آن جدا شده و در موقع توزین کاتد به حساب نمی آید. آزمایش نشان داده است که مناسب ترین شدت جریان در این عمل در حدود ۰/۰۲۵ آمپر برای هر سانتیمتر مربع از سطح کاتد است. بهر این است که پیش از شروع آزمایش اصلی، يك آزمایش مقدماتی انجام دهید تا با تنظیم رؤسای شدت جریان متناسب را انتخاب کنید. پس از انجام آزمایش مقدماتی، با استفاده از کاغذ سنباده و آب جاری سطح کاتد را کاملاً تمیز کنید، سپس آن را با آب مقطر بشوید و بالای يك شعله کوتاه و بی دود خشک کنید. نباید بقیه مسی کاتد در شعله قرار گیرد، زیرا مس در شعله اکسید می شود. پس از خشک کردن کاتد، آن را با ترازوی دقیقی توزین و وزن آن را یادداشت کنید. کاتد را پس از توزین در جای خود بگذارید و به مدت نیم ساعت جریان را برقرار سازید، در تمام این مدت باید شدت جریان در مدار ثابت بماند؛ بنابراین، آمپر سنج باید زیر نظر باشد. پس از نیم ساعت، کاتد را از جای خود خارج کنید و آن را در جریان آب ملایم، بدون مالیدن دست بشوید و بالای شعله خشک نمایید و دوباره با ترازو توزین کنید و نتایج را در جدولی مانند جدول زیر یادداشت و هم ارز الکتروشیمیایی مس را حساب نمایید.

جرم کاتد پیش از عبور جریان  $m_1 =$  گرم

جرم کاتد پس از عبور جریان  $m_2 =$  گرم

جرم مس آزاد شده در کاتد  $m_2 - m_1 =$  گرم

شدت جریان  $I =$  آمپر

مدت عبور جریان  $t =$  ثانیه

$$\text{هم ارز الکتروشیمیایی مس} = \frac{m_2 - m_1}{It} = \dots \frac{\text{گرم}}{\text{کولن}}$$

به این پرسشها پاسخ دهید

(۱) چه عملی الکترولیز نامیده می شود؟

(۲) چرا برای تجزیه آب خالص باید چند قطره اسید سولفوریک به آن افزود؟

(۳) چرا وقتی دو قطب يك پیل یا يك انبار سربی را با سیمی به هم وصل می کنیم درون

پیل یا انباده واکنشهای شیمیایی صورت می گیرد ؟

(۲) با بیان يك مثال چگونگی عبور جریان الکتریسته از يك الکترولیت را شرح دهید .  
(۵) الکترولیز محلول اسید کلریدریك و محلول سود سوزآور (Na OH) و محلول کلراید نیکل را توضیح دهید .

(۶) این اصطلاحات را تعریف کنید: الکترولیز، آند، کاتد، یون، آنیون، کاتیون.

(۷) از مواد زیر کدامشان الکترولیت هستند؟

نفت ، جیوه ، محلول نمك طعام ، مس مذاب ، محلول رقیق اسید سولفوریک .

(۸) قانونهای فارادی را در مورد الکترولیز بیان کنید و هم اوز الکتروشیمیایی را تعریف نمایید .

(۹) با توجه به مفهوم هم اوز شیمیایی نقره ، آیا می توان به کمک الکترولیز درست بودن درجه بندی يك آمپرسنج را کنترل کرد ؟ توضیح دهید .

(۱۰) برای این که دو طرف يك صفحه فلزی به طور یکنواخت آب مس داده شود چه باید کرد ؟

جواب این پرسش را با رسم شکل و اشاره به حدود شدت جریان بدهید.

(۱۱) توضیح دهید هنگامی که جریان برق از الکترولیت اسیدسولفوریک رقیق می گذرد اگر از الکترودهای پلاتین استفاده شود چه اتفاق می افتد.

(۱۲) از نامبرده های زیر کدام آنیون و کدام کاتیون هستند:

مس، تیروژن، ریشه سولفات، کلر

تعداد بارهای یونی آنها را نیز مشخص کنید.

(۱۳) الکترولیز محلول سولفات مس را وقتی که از الکترودهای مسی استفاده می شود شرح دهید. اثر به جای الکترودهای مسی از الکترودهای پلاتینی استفاده بشود چه اختلافی مشاهده می گردد؟ توضیح دهید.

(۱۴) می دانیم هراتم گرم از يك عنصر مانند تیروژن یا نقره شامل  $N = 6.023 \times 10^{23}$  یعنی اتم هیدروژنی که يك الکترون با بار الکتریکی  $1.6 \times 10^{-19}$  از دست داده است ، بر اساس فرضیه بونی با محاسبه نشان دهید که برای آزاد شدن يك اتم گرم هیدروژن تقریباً ۹۶۵۰۰ کولن الکتریسته لازم است .

**این مسئله ها را حل کنید**

(۱) برای آزاد شدن  $1/10$  گرم مس به وسیله الکترولیز، در صورتی که شدت جریان ۵/۵۰

آمبر باشد چه مدت لازم است ؟ هم ارز الکتروشیمیایی مس  $0.100033 \frac{\text{گرم}}{\text{کولن}}$  است.

(۲) می خواهیم دو طرف یک صفحه نیزی به ابعاد  $5\text{cm} \times 4\text{cm}$  را از مس به ضخامت  $0.1$  میلیمتر یونانیمه اگر شدت جریان  $0.15$  آمپر باشد چه مدت برای انجام این کار لازم است .

جرم حجمی مس را  $9 \frac{\text{گرم}}{\text{سانیمتر مکعب}}$  و هم ارز الکتروشیمیایی مس را  $0.100033 \frac{\text{گرم}}{\text{کولن}}$  بگیرید .

(۳) در دستگاهی گاز نیدروژن از تجزیه الکتریکی آب اسیددار به دست می آید اگر شدت جریان  $50$  آمپر باشد حجم گاز نیدروژن حاصل در مدت یک ساعت چه اندازه است ؟ هم ارز الکتروشیمیایی نیدروژن  $5-10 \times 10^{-5} \frac{\text{گرم}}{\text{کولن}}$  و جرم حجمی نیدروژن در شرایط آزمایش

$0.109 \frac{\text{گرم}}{\text{لیتر}}$  است .

(۴) یک باتری با نیروی محرکه  $3/00$  ولت و مقاومت داخلی  $0.180$  اهم به یک ولتامتر با الکترودهای مسی وصل شده است و شدت جریان در مدار  $1/40$  آمپر است .

الف - مقاومت و ولتامتر را حساب کنید .

ب - تغییر وزن کاند پس از گذشت زمان  $5$  ساعت چه اندازه است ؟

می دانیم برای آزاد شدن  $31/5$  گرم مس  $96500$  کولن الکتریسته لازم است .

(۵) ولتامتری را که محتوی نترات نقره ( $\text{AgNO}_3$ ) است به طور متوالی با ولتامتر دیگری که محتوی محلول سولفات مس ( $\text{CuSO}_4$ ) است در مداری بسته ایم . اگر در اثر عبور مقداری الکتریسته از مدار،  $1/5$  گرم مس روی کاند ولتامتر دومی نشسته باشد چه مقدار نقره روی کاند ولتامتر اولی نشسته است ؟

(۶) مطلوبت حجمهای اکسیژن و هیدروژنی که در شرایط استاندارد ( $76$  سانیمتر جیوه و صفر درجه سلسیوس) در مدت  $1/05$  ثانیه در اثر عبور جریانی به شدت  $0.4$  آمپر در ولتامتر محتوی آب اسیددار متصاعد می شود .

### پاسخ به پرسشهای متن

(۱-۲) آند به قطب مثبت مولد و کاتد به قطب منفی مولد.

(۲-۲) برای رسیدن یونهای  $\text{OH}^-$  به آند اختلاف پتانسیل کمتری لازم است .

(۳-۴) از آن به بعد، تجزیه الکترولیت مانند تجزیه محلول اسید سولفوریک رقیق صورت می گیرد و در کاتد و آند به ترتیب نیدروژن و اکسیژن متصاعد می شود .

(۴-۲) نه ، در حالات ساده ای که بیان شد مباد حاصل از عمل الکترولیز بستگی به شکل و ابعاد ظرف الکترولیز و الکترودها و غلظت الکترولیت و دمای آن ندارد .

$$Z = \frac{31/77}{96500} \approx 0.1000329 \frac{\text{g}}{\text{C}} \quad (5-4)$$



## انرژی و توان الکتریکی اثر گرمایی جریان برق

یکی از امتیازهای انرژی الکتریکی این است که به آسانی به گرما و نور و صورتهای دیگر انرژی تبدیل می شود. امروزه تولید روشنائی به وسیله برق در همه جا متداول است. در اغلب خانه ها رادیو و تلویزیون جزو لوازم زندگی به شمار می رود. تعداد زیادی از اسبابهای خانه که با برق کار می کنند، مانند اتو و بخاروی الکتریکی، ماشین لباسشویی، جاروی برقی، یخچال الکتریکی و... کار خانمهای خانه دار را در امر خانه داری آسان می نمایند.

استفاده از برق برای به حرکت درآوردن ترنهای زیرزمینی و قطارهای سریع السیر روز به روز زیادتر می شود. در سالهای اخیر کوشش شده و می شود که به منظور جلوگیری از آلودگی هوا، در کارخانه ها به جای سوختن نفت یا زغال سنگ، از الکتریسته برای به کار انداختن ماشینها استفاده شود.

نقش مؤثر الکتریسته در تمام مظاهر زندگی، چنانکه گفتیم، مدیون آثار آن است. در بخش پیش اثر شیمیایی جریان برق را به اختصار بیان کردیم. در این بخش به شرح اثر گرمایی و کاربردهای آن می پردازیم.

**انرژی در یک مدار الکتریکی** پیش از خواندن این بخش، تعریفهای ژول، وات، آمپر، کولن، ولت و اهم را که در بخشهای قبل فرا گرفته اید دوباره مرور کنید و به خاطر بسپارید. هنگامی که به دو سر یک مدار اختلاف پتانسیلی برقرار می شود تعدادی از الکترونهای درون مدار، در اثر نیروهای الکتریکی به حرکت درمی آیند، بنابراین، کار انجام می شود و الکترونهای انرژی می گیرند. حرکت الکترونها در مدار سبب ایجاد جریان برق می شود و انرژی جریان برق هنگامی که به دو سر یک مدار اختلاف



(یعنی انرژی الکترونها) بسته به نوع مداری که در آن جریان برقرار می‌شود به صورتهای مختلف ظاهر می‌گردد. مثلاً یک دستگاه فرستنده رادیو انرژی حاصل از حرکات نوسانی سریع الکترونها را به صورت امواج الکترومغناطیسی بخش می‌کند. کار یک گیرنده رادیو این است که انرژی این امواج را دوباره به انرژی الکتریکی پس به انرژی صوتی (که انرژی مکانیکی است) تبدیل نماید. موتور الکتریکی برای این منظور ساخته شده است که انرژی الکتریکی را به انرژی مکانیکی تبدیل کند. در بخاری برقی یا اتوی برقی، انرژی الکتریکی تبدیل به انرژی درونی، ماده می‌شود و این انرژی به نوبه خود به صورت گرما ظاهر می‌گردد. در اینجا ما نخست اثر گرمایی جریان برق را مورد بحث قرار می‌دهیم. یعنی، حالتی را در نظر می‌گیریم که در اثر عبور جریان برق از یک مقاومت، احتمالاً تمام انرژی الکتریکی به گرما تبدیل شود.

## کاری که توسط جریان الکتریکی انجام می‌شود

در بخش پیش، ولت (واحد اختلاف پتانسیل) را تعریف کردیم. از تعریف ولت نتیجه می‌شود که اگر بین دو سر یک هادی، اختلاف پتانسیل یک ولت برقرار شود و یک کولن الکتریسته از هادی بگذرد، یک ژول کار انجام می‌گیرد. بنابراین اگر اختلاف پتانسیل دوسر هادی  $V$  ولت باشد و  $Q$  کولن الکتریسته از آن بگذرد کار انجام شده برابر  $VQ$  است. ولی: زمان عبور جریان (به ثانیه)  $\times$  شدت جریان (به آمپر)  $= Q$

یا  $Q = It$  کولن

بنابراین کار انجام شده بر حسب ژول برابر است با:

$$\begin{array}{ccccccc} W & = & VQ & = & VI & t \\ \downarrow & & \downarrow & & \downarrow & & \downarrow \\ \text{ثانیه} & & \text{آمپر} & & \text{ولت} & & \text{کولن} \end{array} \quad (1-5)$$

اگر در نظر بگیریم که بنابه قانون اهم  $V = IR$  یا  $I = \frac{V}{R}$  است، رابطه (۱-۴) را به دو صورت زیر نیز می‌توانیم بنویسیم:

$$W = VIt = IR \cdot It = I^2 Rt \quad (2-5)$$

$$W = VIt = V \cdot \frac{V}{R} t = \frac{V^2}{R} t \quad (3-5) \quad \text{و}$$

کاری که در اثر عبور جریان برق، در یک هادی انجام می‌شود، در آن به انرژی ددونی مولکولی تبدیل می‌گردد و دمای هادی بالایی رود. در نتیجه، این انرژی به صورت گرما ظاهر می‌شود.

## قانون ژول - در اواسط قرن نوزدهم میلادی

جیمز ژول<sup>۱</sup> فیزیک‌دان انگلیسی ضمن تحقیقات خود درباره اثر گرمایی جریان برق، آزمایشهایی انجام داد. نتیجه تحقیقات او به صورت قانونی به نام قانون ژول معروف است که چنین بیان می‌شود:

اندازه گرمایی که در یک سیم در اثر عبور جریان برق تولید می‌شود متناسب است با:

۱- مجذور شدت جریان ( $I^2$ )

۲- مقاومت سیم ( $R$ )

۳- زمان عبور جریان ( $t$ )

قانون ژول را می‌توان به صورت رابطه زیر

نمایش داد:

$$\text{گرما} \propto I^2 R t$$

بنابراین نتیجه تجربی ژول با رابطه زیر که ما آن را قبلاً براساس تعریفهای ولت و آمپر و اهم به دست آوردیم تطبیق می‌کند:

$$I^2 R t = \text{کار انجام شده بر حسب ژول (یا گرمای تولید شده بر حسب ژول)}$$

پرش ۱-۵- اگر بخواهید گرمای حاصل را بر حسب کالری حساب نمایید چه می‌کنید؟

## توان الکتریکی

هر اسباب الکتریکی با اختلاف پتانسیل، یا به عبارت دیگر با ولتاژ مشخصی کار می‌کند. موقعی که این ولتاژ به دو سر اسباب بسته می‌شود مقداری انرژی الکتریکی در واحد زمان در اسباب به مصرف می‌رسد که معرف توان آن است. معمولاً هر اسباب الکتریکی بر حسب پاهلاکی دارد که روی آن اندازه ولتاژ و توان اسباب نوشته یا حک شده است. مثلاً اگر روی یک لامپ الکتریکی اعداد «240V , 60W» یا روی یک بخاری الکتریکی اعداد «240V , 3kW» نوشته شده باشد این اعداد، از چپ به راست به ترتیب معرف ولتاژ بر حسب ولت و توان اسباب بر حسب وات یا کیلووات است ( $1 \text{ kW} = 1000 \text{ W}$ ).

به طوری که می‌دانید، واحد توان، «وات» است. و یکوات بنابه تعریف معادل یک ژول بر ثانیه است. بنابراین

$$\text{کار (بر حسب ژول)} = \text{زمان (بر حسب ثانیه)} \times \text{توان (بر حسب وات)}$$

$$P_{(w)} = \frac{W(J)}{t(s)} \quad \text{یا}$$

دیدیم که کار انجام یافته توسط جریان، در  $t$  ثانیه،

با جمله  $VIt$  یا  $I^2 R t$  یا  $\frac{V^2}{R} t$  نمایش داده می‌شود.

چون توان کار انجام یافته در واحد زمان است، بنابراین

$$\left. \begin{aligned} \text{ولت} \times \text{آمپر} &= P = \frac{VIt}{t} = VI \\ &= \frac{I^2 R t}{t} = I^2 R \quad \text{اهم} \times (\text{آمپر})^2 \\ &= \frac{V^2 t}{R t} = \frac{V^2}{R} \quad \frac{(\text{ولت})^2}{\text{اهم}} \end{aligned} \right\} (4-5)$$

پرش ۲-۵- اگر یک لامپ 60W , 240V

با همین مشخصات کار کند چه شدت جریانی از آن می‌گذرد و مقاومت آن چند اهم است؟

واحد تجارتی انرژی الکتریکی «کیلووات ساعت».

اگر به یک کنتور برق نگاه کنید روی آن علامت kWh را که نمایش مصرف انرژی برق بر حسب کیلو-وات ساعت است خواهید یافت. کیلووات ساعت واحد تجارتی انرژی الکتریکی است و چنان که از نام آن پیداست، برابر است با انرژی الکتریکی که از قرار هزار ژول در ثانیه (هزار وات) به مدت یک ساعت به مصرف برسد.

بنابراین: وات ساعت  $1 \text{ kWh} = 1000$

$$\text{ژول بر ثانیه} \times \text{یک ساعت} = 1000$$

$$\text{ژول} = 1000 \times 3600 = 3600000$$

$$(MJ) \text{ مگا ژول } 3.6 =$$

پرش ۳-۵- قیمت برق مصرفی در ۵ لامپ ۶۰

واتی و ۴ لامپ ۱۰۰ واتی در مدت ۸ ساعت از قرار

هر کیلو وات ساعت ۲/۵ ریال چیست؟

## تولید گرما با جریان برق

در بخاریهای برقی که برخاسته تابش مستقیم گرماکار می کنند، دستگاه گرماده سیم مقاومت داری است که در اثر عبور جریان برق، دمای آن تا حدود  $900^{\circ}\text{C}$  بالا می رود. سیم مقاومت دار روی میله یا تیغه ای از جنس آلومینوسز پیچیده شده یا درون لوله ای از جنس سلیس قرار داده شده است. سیم را معمولاً از آلیاژ نیکروم (نیکل و کروم) می سازند تا در مجاورت هوا به هنگام سرخ شدن زنگ نزنند. در نوع دیگری از بخاریهای الکتریکی که بر اساس معرفتی (کنوکسیون) کار می کنند، دمای قسمت گرماده فقط تا حدود  $450^{\circ}\text{C}$  بالا می رود، در نتیجه، دستگاه گرماده در اثر گرما سرخ نمی شود. در این نوع بخاریها، انتقال گرما، از راه معرفتی به وسیله هوا صورت می گیرد. تعداد زیادی از وسایل الکتریکی، مانند اتوی برقی، کتری برقی، سماور برقی، پتوی برقی و... نیز دارای دستگاه مولد گرما (گرماده) هستند.

هنگامی که از جریان برق برای گرم کردن آب یا مایعاتی دیگر استفاده می شود، دستگاه گرماده باید از نظر الکتریکی کاملاً عایق پوش بوده و درون یک لوله فلزی یا محفظه ای قرار داده شود تا هیچ گونه تماسی با آب نداشته باشد. زیرا ممکن است خطر برق گرفتگی پیش بیاید. دستگاه گرماده اتوی برقی، به جای سیم، از نوارهای نازک و بجن فلزی ساخته می شود تا هدایت گرما به بدنه اتو به آسانی صورت گیرد. عریک از نوارها بین دو ورقه نازک میکا قرار داده می شود. میکا ماده معدنی است که به آسانی به صورت ورقه های نازک در می آید و در دماهای بالا در مقابل گرما مقاومت می کند.

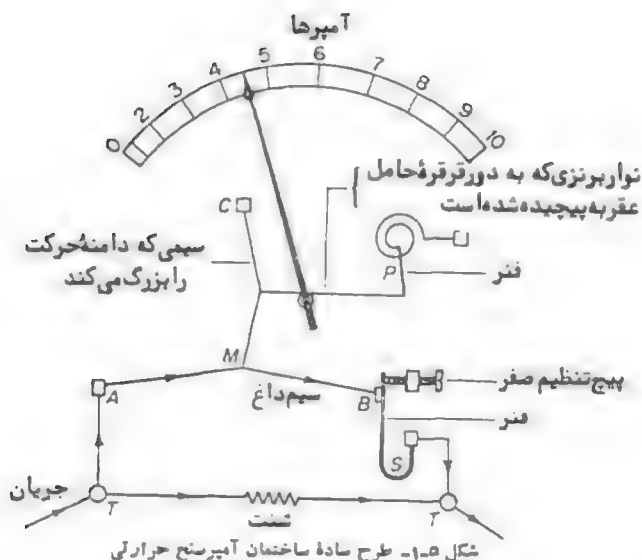
## پوش ۵-۴- در بخاری الکتریکی وقتی دمای

دستگاه گرماده آن به حد معینی رسید با آنکه جریان برق مرتباً از دستگاه می گذرد این دما ثابت می ماند. آیا می توانید علت را توضیح دهید؟

اثر گرمایی جریان الکتریسته در اندازه گیری شدت جریان نیز مورد استفاده قرار گرفته و برای این منظور آمپرسنج حرادتی ساخته شده است

**آمپرسنج حرادتی - شکل ۵ - ۱ طرح ساده**  
ساختمان آمپرسنج حرادتی را نشان می دهد: سیم باریک AB از جنس آلیاژ پلاتین و نقره است که بین دو نقطه A و B محکم کشیده شده و قسمت اساسی آمپرسنج را تشکیل می دهد. به وسط سیم AB، سیم دیگر MC متصل است که در نقطه C به پایه ای محکم شده است. به وسط سیم MC نیز نوار باریکی از جنس برنز فسفردار بسته شده است و این نوار به دور قرقره کوچکی که عقربه آمپرسنج به آن متصل است پیچیده شده و سر دیگر آن توسط فنر P محکم کشیده می شود.

هنگامی که جریان الکتریسته از سیم AB می گذرد، دمای سیم بالا می رود و سیم انبساط می یابد. در نتیجه، وسط آن توسط فنر P که نوار برنزی را به طرف راست می کشد بالا کشیده می شود تا دوباره محکم شود. چون نوار برنزی به دور قرقره پیچیده شده است ضمن حرکت خود، قرقره را می چرخاند و عقربه متصل به آن در مقابل صفحه مدرج به سمت راست حرکت می کند و شدت جریان را نشان می دهد. پس از قطع جریان، عقربه دوباره به جای اول خود (روی صفر) برمی گردد. برای تنظیم صفر دستگاه از پیچ تنظیم که به فنر S تکیه دارد (فتری که به



شکل U است) استفاده می شود. لازم از سیم AB بگذرد.

چون اثر گرمایی جریان الکتریسته بستگی به جهت جریان ندارد با این نوع آمپرنج می توان هم شدت جریان مستقیم (جریان حاصل از پیل یا باتری) و هم شدت مؤثر جریان متناوب<sup>۱</sup> (مانند برق شهر) را اندازه گرفت. نظر به این که اندازه گرمای حاصل در سیم AB با مجذور شدت جریان متناسب است فاصله بین درجات روی صفحه مدرج مساوی نیست و درجه های نزدیک به صفر فشرده تر از درجات آخر است.

**تولید روشنایی با جریان برق**  
تولید روشنایی به وسیله برق به روشهای مختلفی صورت می گیرد که شما کم و بیش با آنها آشنایی دارید در این جا به منظور یادآوری به شرح مختصر چند روش می پردازیم :

۱- کمان الکتریکی - در اوایل قرن نوزدهم سرمفری دیوی شیمیدان و مخترع انگلیسی نشان داد که می توان یک چشمه نور قوی از اتصال دو میله کربن

در شکل مقاومتی دیده می شود که با سیم AB به طور موازی بسته شده است. این مقاومت که قابل تغییر نیز هست<sup>۲</sup> یا شنت<sup>۳</sup> نامیده می شود و می توان آن را طوری انتخاب کرد که شدت جریان

۱- به بخش ۸ مراجعه شود.

۲- به بخش ۳ مراجعه شود

درمدار کمان قرارداد می‌شود<sup>۱</sup> . شدت جریان برای میله‌هایی به قطر ۵ میلیمتر در حدود ۲ آمپر است ، بنابراین می‌توان چنین کمانی را با برق ۱۱۰ ولت به کار انداخت کافی است که يك مقاومت ۱۵ اهمی به طور متوالی درمدار کمان بسته شود .

چون کربن در هوا می‌سوزد کم کم فاصله میله‌ها از هم زیاد می‌شود و باید به تدریج میله‌ها را به هم نزدیک کرد و این کار ممکن است به طور خودکار صورت گیرد .

به يك باتری با نیروی محرکه حدود ۲۰ ولت به دست آورد ، برای این منظور کافی است نوکهای دو میله کربن را به هم تماس دهیم تا نوک میله‌ها افروخته شود سپس آنها را به اندازه مناسب از هم جدا سازیم در این صورت يك قوس نورانی بسیار قوی میان دو میله تشکیل می‌شود .

کمان الکتریک را می‌توان هم با جریان متناوب و هم با جریان مستقیم به کار انداخت ولی جریان مستقیم بهتر است و معمولاً يك مقاومت مناسب به طور سری



شکل ۳-۲- لامپ بر اساس کمان الکتریکی برای فانوس دریایی .  
 درون لامپ از گاز نئون تحت فشار زیاد پر شده است و شدت نور آن يك میلیون کاندلا است (کاندلا واحد شدت نور است که تقریباً در حدود شدت نور يك شمع است) .

۱- اگر از برق شهر برای به کار انداختن کمان استفاده می‌شود باید با ترانسفورماتور گاهنده پتانسیل ، اختلاف پتانسیل را به اندازه لازم پایین آورد .

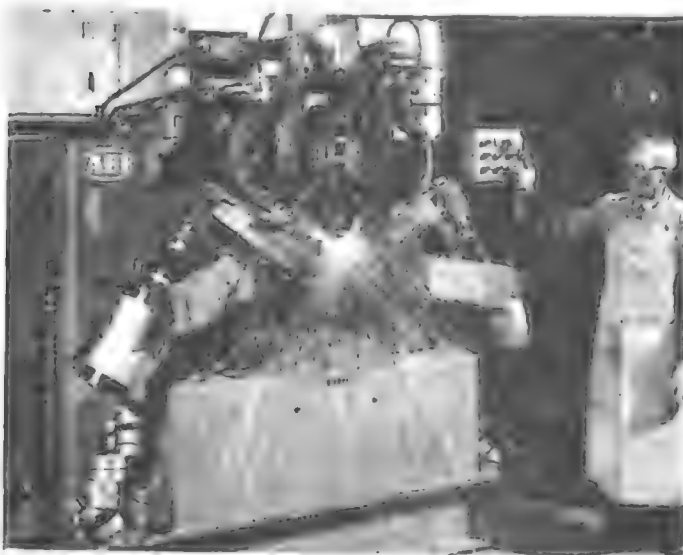
## در نیمه دوم قرن

به وسیله کمان الکتریکی به میزان قابل توجهی متداول شد و مخترعین آن زمان مهارت زیادی در مکانیسم روشن کردن و جلو و عقب بردن میله‌ها به طور خودکار نشان دادند. ولی این گونه تولید روشنائی گران و پرهزینه بود و با آن که از سال ۱۸۸۰ میلادی لامپهای با رشته سیم ملتهب جای آنها را گرفت استفاده از لامپهای کمان الکتریکی جهت روشنائی خیابانها و کارخانه‌ها و تئاترها تا قرن بیستم ادامه یافت.

امروزه کاربرد این لامپها محدود به نورافکنها و لامپهای پروژکتورهای قوی است آن هم در جایی که احتیاج به نور بسیار قوی و متمرکز است.

شکل ۵-۲ یک لامپ فانوس دریایی بر اساس کمان الکتریکی را نشان می‌دهد که الکترودهای آن

دمای کمان الکتریکی در حدود  $3700^{\circ}\text{C}$  است. این دما بالاتر از نقطه ذوب فلزات است. بنابراین مهمترین کاربرد کمان الکتریکی در کوره‌های الکتریکی و جوشکاری است و شکل ۵-۳ یک دستگاه جوشکاری بر اساس کمان الکتریکی را در حال کار نشان می‌دهد. دو نوع کوره الکتریکی متداول است: کوره‌های بزرگ که در آنها از میله‌های ضخیم کربن استفاده می‌شود و ویژه ذوب فولاد است و کوره‌های کوچک که برای تحقیقات علمی ساخته می‌شوند. این کوره‌ها معمولاً دارای یک الکتروود از جنس تنگستن هستند و فلزی که باید ذوب شود الکتروود دیگر را تشکیل می‌دهد.



شکل ۵-۳- دستگاه جوشکاری خودکار با دو الکتروود در حال کار

## ۲- لامپهای معمولی - در این لامپها عامل

تبدیل انرژی الکتریکی به نور يك رشته سیم بسیار باریک و مقاومت دار است که در اثر عبور جریان برق فروخته می شود .

اختراع اصولی این لامپها در سال ۱۸۷۹ میلادی توسط ادیسون صورت گرفت . در نخستین سالهای اختراع ، يك رشته باریک کربن را در يك حباب شیشه ای قرار می دادند و برای این که رشته نسوزد هوای درون لامپ را تخلیه می کردند . وقتی که جریان برق از این رشته کربن می گذشت فروخته شده و تولید نور می کرد . عیب این لامپ آسیب پذیری زیاده از حد آن بود به طوری که ناگهان رشته کربن قطع می شد . این کیفیت سبب شد که يك مخترع لامپی با ۵ رشته کربن بسازد و هر وقت يك رشته قطع می شد رشته دیگر خود بخود وارد عمل می گشت تا این که هریک رشته مصرف می شد .

در آغاز قرن بیستم میلادی دریافته اند که اگر به جای رشته کربن سیم تنگستن به کار رود نور حاصل از فروختگی آن بیشتر است . زیرا تنگستن فلزی است که نقطه ذوب آن بالا و در حدود  $3400^{\circ}\text{C}$  است . بنابراین می توان دمای آنرا تا  $2000^{\circ}\text{C}$  ( به جای  $1300^{\circ}\text{C}$  در رشته کربن) بالا برد .

لامپهای قدیمی را از هوا تخلیه می کردند ولی بیشتر لامپهای امروزی را با کمی نیترون یا آرگن با فشار کم پر میکنند . این گاز از بخار شدن فلز در دمای التهاب تا اندازه ای جلوگیری می کند و لامپ را قادر می سازد که در چنین دمای بالایی کار کند .

در لامپهای رشته کربنی قدیمی قسمت بیشتر انرژی الکتریکی به گرما و فقط قسمت کوچکی از آن به نور تبدیل می شد در صورتی که لامپ با رشته تنگستن

(خالی از هوا) با همان میزان مصرف انرژی دارای بازده روشنایی دو برابر است .



شکل ۴- نمونه ای قدیمی از لامپ برق ادیسون

یکی از معایب لامپهایی که با گاز پر شده اند این است که جریان همرفتی (کنوکسیون) گاز در آنها رشته سیم را سرد می کند . برای رفع این عیب رشته را به صورت سیم پیچ در می آورند تا فضای کوچکتري اشغال کند و افت دمای سیم در اثر همرفتی تقلیل یابد . لامپهای سیم پیچ دار از سال ۱۹۳۴ میلادی وارد بازار شده اند و بازده روشنایی آنها سه برابر لامپهای رشته کربنی است .

یکی دیگر از عیبهای لامپ با رشته تنگستن این است که این فلز در دمای التهاب بخار می شود و روی جدار درونی لامپ می نشیند و آنرا تیره می سازد . در لامپهای پروژکتور معمولاً مقدار کمی ید درون لامپ قرار می دهند تا با بخار تنگستن ، یدید تنگستن ایجاد کند و هنگامی که لامپ روشن می شود به صورت بخار در آید .

۳- لامپ بر اساس تخلیه الکتریکی - اگر لوله شیشه ای که دو الکترود فلزی در دو سر آن نصب

شده است از گازی با فشار کم پر شده باشد و بین این دو الکترود اختلاف پتانسیل نسبتاً زیادی برقرار شود گاز درون لوله با رنگی که از ویژگیهای آن است روشن می شود. این لوله با مشخصاتی که دارد يك لامپ روشنایی را تشکیل می دهد و آن را «لامپ تخلیه الکتریکی» می نامند.

میدان الکتریکی که بین دو الکترود در گاز به وجود می آید سبب می شود که یونهای تولید شده در گاز با سرعت زیاد حرکت کنند در اثر برخورد این یونها به ملکولهای گاز نور تولید می شود<sup>۱</sup> و رنگ نور تولید شده تابع جنس گاز است. مثلاً اگر گاز داخل لوله نئون باشد رنگ نارنجی مایل به قرمز تولید می گردد که در تابلوهای اعلانات تجارتي زیاد دیده می شود<sup>۲</sup>.

استقبال موفقیت آمیز از این لامپها در امر تجارت مسبب شد که سازندگان توجه خود را به تکمیل و توسعه لوله های تخلیه الکتریکی برای روشنایی اماکن عمومی معطوف دارند.

یکی از نتایج تحقیقات آنان اختراع لامپ بخار سدیم و لامپ بخار جیوه است که اولی نور زرد

مایل به نارنجی و دومی نور سبز مایل به آبی تولید می کند و انرژی نورانی آنها برای هر وات مصرف الکتریسته پنج بار بیشتر از لامپ رشته ملتهب است و از این لامپها برای روشنایی خیابانها استفاده می شود.

۴- لامپهای فلوروسنت - لامپ بخار جیوه علاوه بر تولید نور مرئی رنگی که به آن اشاره شد، پرتوهای فوق بنفش نیز تولید می کند. وقتی این پرتوها که خود نامرئی هستند بر روی برخی از مواد معدنی بتابند این مواد با رنگهای مختلف می درخشند. این خاصیت را «فلوروسانس» می نامند. بنابراین اگر جدار داخلی لوله لامپ تخلیه الکتریکی بالا به ای از مخلوط گردهای چنین موادی پوشانیده شود موقع روشن شدن لامپ، این لایه نور سفید یا رنگی بخش می کند.

چون بعضی از این گردها دارای ترکیبات هریلیمیم (که به شدت سمی هستند) می باشند هنگام دست زدن به لوله شکسته باید از آلوده شدن دست به این مواد اجتناب کرد. لامپهای فلوروسنت از لامپهای معمولی گرانترند ولی بازده آنها سه بار بیشتر است.

## به این پرسشها پاسخ دهید

۱) واحد های زیر را تعریف کنید:

ولت، کولن، وات و کیلووات ساعت

۲) با توجه به تعریفی که از ولت می دانید رابطه ای بنویسید که میزان تولید انرژی

---

۱- این پدیده را در بخش ۱۵ تحت عنوان «چگونه اتم نور تابش می کند» خواهید دید.

۲- تخلیه الکتریکی درون گازها در بخش ۹ به تفصیل شرح داده شده است.



گرمایی را در واحد زمان در سیمی به مقاومت  $R$  اهم هنگامی که از آن جریانی به شدت  $I$  آمپر می‌گذرد نشان دهد.

۳) دو مقاومت یکسان و یک انباره که مقاومت داخلی آن ناچیز است در اختیار دارید. اگر این دو مقاومت را یک بار به طور متوالی و بار دیگر به طور موازی به دوسر انباره ببندید، نسبت مقدار گرمایی که در دو حالت در مجموع دو مقاومت در زمان معین تولید می‌شود چه خواهد بود؟

۴) با رسم یک مدار الکتریکی نشان دهید که چگونه می‌توانید مقاومت و توان یک لامپ الکتریکی ۱۲ ولتی را هنگامی که روشن است با استفاده از یک ولت سنج و آمپر سنج به دست آورید.

۵) کنتور برق کدام یک از کمیت‌های زیر را نشان می‌دهد.

الف - اختلاف پتانسیل ب - مقدار الکتریسیته ج - توان الکتریکی د - انرژی الکتریکی  
در باره جواب درستی که انتخاب می‌کنید توضیح دهید.

۶) یک لامپ ۶۰ واتنی و یک لامپ ۱۵۰ واتنی هر دو با برق ۱۱۰ ولت کار می‌کنند مقاومت کدام یک از این دو لامپ بیشتر است؟

۷) با رسم یک شکل ساده، طرز اتصال میله‌های کربن یک کمان الکتریکی را به دو سر یک باتری نمایش دهید.

۸) شکل ساده‌ای از یک لامپ برق معمولی با رشته تنگستن رسم کنید.

۹) در هر اسباب الکتریکی مانند اتو، بخاری، رادیو، تلویزیون و... یک قطعه سیم باریک به نام فیوز از نوع فلز یا آلیاژی که نقطه ذوب آن پایین است (و معمولاً در یک لوله کوچک شیشه‌ای حفاظت می‌شود) می‌گذارند که اگر جریان از حد معینی بگذرد گرمایی که در سیم فیوز تولید می‌شود آنرا قطع نماید. علت لزوم این فیوز را توضیح دهید. چرا در موقع تعویض فیوز باید دقت کرد که فیوز درست همان ظرفیت جریان را (که بر حسب آمپر روی آن نوشته شده است) داشته باشد؟

## این مسئله‌ها را حل کنید

۱) یک لامپ الکتریکی با اختلاف پتانسیل ۱۲ ولت توان ۴۸ وات مصرف می‌کند. مطلوب است:

الف: شدت جریان در لامپ؛

ب: مقاومت لامپ هنگامی که روشن است؛

ج: مقدار انرژی (بر حسب ژول) که در يك ساعت در آن به مصرف می‌رسد.

۲) يك كتری الكتریکی ۲۲۰۷ و ۲ kW وقتی که از آب سرد پر شود ۵ دقیقه طول می‌کشد

تا به جوش آید.

الف: مقاومت الكتریکی دستگاه گرماده آن چند اهم است.

ب: اگر كتری به‌طور متوسط روزی سه بار برای جوش آوردن آب سرد به‌کار رود قیمت

مصرف متوسط برق ماهانه آن از قرار هر کیلووات ساعت ۲/۵ ریال چیست؟ (از هر گونه اتلاف گرما صرف‌نظر کنید).

۳) چه مدت لازم است تا يك آب گرم‌كن الكتریکی به‌توان الكتریکی ۳ کیلووات، دمای

۱۵۰ لیتر آب را كه در يك مخزن مسی به جرم ۲۰ کیلوگرم موجود است از ۱۵°C به ۷۰°C

برساند. گرمای ویژه آب و مس به‌ترتیب برابر ۴۲۰۰ و ۳۹۰۰  $\frac{\text{ژول}}{\text{کیلوگرم} \cdot \text{درجه}}$  است. فرض کنید ۲۰ درصد از انرژی الكتریکی آب گرم‌كن تلف می‌شود.

۴) توان يك توربو-آلترناتور (دستگاه مولد برق که با توربین بخارکاری کند)  $۲ \times ۱۰^۵$

کیلووات است و در هر ساعت ۲۸ تن سوخت برای تولید بخار لازم مصرف می‌شود. اگر توان

گرمایی سوخت مصرفی ۲۲۰۰۰ کیلو ژول برای هر کیلوگرم باشد بازده این تأسیسات را حساب کنید.

## پاسخ به پرسشهای متن

۱-۵) می‌دانیم هر کالری تقریباً معادل ۴/۲ ژول یا هر ژول معادل ۰/۲۴  $\frac{1}{4/2} \approx 0/24$

کالری است. کافی است انرژی گرمایی را بر حسب ژول حساب کنیم و عدد حاصل را در ۰/۲۴ ضرب نماییم.

$$\begin{cases} V = IR = 240V \\ P = VI = 60W \end{cases}$$

۲-۵) داریم :

$$I = \frac{P}{V} = \frac{60}{240} = \frac{1}{4} A$$

از رابطه پایینی نتیجه می‌شود :

$$R = \frac{V}{I} = \frac{240}{\frac{1}{4}} = 960 \Omega$$

و از رابطه بالایی نتیجه می‌شود

$$۳-۵) \text{ وات } = (5 \times 60) + (4 \times 100) = 700$$

ساعت = ۸ زمان

کیلووات ساعت  $\frac{8600}{1000} = 8.6 = 5.6$  وات - ساعت  $= 5600 = 700 \times 8 =$  انرژی کل مصرف شده

ریال  $5.6 \times 275 = 14 =$  قیمت انرژی مصرف شده

۵-۲) گرمایی که در اثر عبور جریان برق در بخاری تولید می شود در اثر تابش و کتوکسیون به محیط اطراف آن منتقل می گردد و بین گرمای تولید شده و گرمای داده شده به محیط تعادل برقرار می شود در نتیجه دمای دستگاه گرماده ثابت می ماند.

## آهن ربا

تقریباً از شش قرن پیش از میلاد مسیح یونانیان می دانستند که يك نوع سنگ آهن طبیعی، که امروز ماگنتیت<sup>۱</sup> نامیده می شود، تکه های کوچک آهن را می رباید. بعدها در قرون وسطی، دریانوردان با قراردادن قطعه ای از سنگ آهن ربای طبیعی روی يك تخته كوچك و شناور ساختن آن بر سطح آب درون يك ظرف، قطب نماهای ساده ای ساختند. همین قطب نماهای ابتدایی وساده اساس قطب نماهای حساس و دقیق امروزی را تشکیل می دهند که در عوایمیابی و دریانوردی به کار می روند.

ماگنتیت در واقع اکسید آهن طبیعی (به فرمول  $Fe_3O_4$ ) است و کلمه مغناطیس که به آهن ربا اطلاق می شود از ماگنیزیا<sup>۲</sup> (نام محلی که سنگ آهن ربای طبیعی در آنجا کشف شده) گرفته شده است.

شکل ۶-۱- سنگ آهن ربای طبیعی که براده های آهن را جذب کرده است.

مغناطیسی بیش از جاهای دیگر ظاهر می شود. این مکانها را قطبهای آهن ربا گویند.

### قطبهای آهن ربا

شکل ۶-۱ يك قطعه سنگ آهن ربای طبیعی را نشان می دهد که براده های آهن به آن چسبیده اند. تراکم این براده ها به ویژه در دو محل بیشتر است. می دانید هرگاه آهن ربای تیغه ای معمولی در براده آهن فرو برده شود براده ها بیشتر به دو سر آن می چسبند و در قسمت میانی تیغه اگر چه براده آهن جذب شده باشد بسیار کم است. یعنی: دو سر آهن ربا مکانهایی وجود دارد که در آنها اثر نیروی جاذبه

نامگذاری قطبهای آهن ربا. محور مغناطیسی يك آهن ربا - نصف النهار مغناطیسی هرگاه يك آهن ربای تیغه ای با نخ آویخته شود به طوری که بتواند آزادانه در يك سطح افقی به هر طرف بچرخد پس از چند نوسان در راستای تقریبی شمال و جنوب قرار می گیرد. در این وضعیت

## تشخیص قطبهای يك آهن ربا

برای تشخیص قطبهای يك آهن ربا باید هریك از قطبهای آن را به نوبت به آتپهای شاخته شده آهن ربایی كه آویزان است نزدیک كرد. اگر دو قطب همنام باشند يكديگر را می رانند. ولی اگر يكديگر را بربایند نمی توان مطمئن شده كه دو قطب غیر همنامند، زیرا يك تكه آهن هم كه آهن ربا نیست جذب هريك از قطبهای آهن ربا می شود. بنابراین برای اطمینان در تشخیص قطبهای يك آهن ربا باید از خاصیت دفع دو قطب استفاده كرد.

## مواد مغناطیسی و غیرمغناطیسی

می دانید علاوه بر آهن، دو فلز نیکل و کبالت نیز جذب آهن ربا می شوند. سه عنصر آهن و کبالت و نیکل و بعضی از آلیاژهای آنها كه به شدت جذب آهن ربا می شوند مواد مغناطیسی یا در اصطلاح دانش فیزیك، مواد فرومغناطیك<sup>۱</sup> نامیده می شوند. موادی مانند مس، برنج، شیشه، چوب كه جذب آهن ربا نمی شوند مواد غیرمغناطیسی نام دارند. با وجود این آزمایش نشان داده است كه مواد غیر-مغناطیسی هر گاه در میدان آهن رباهای بسیار قوی واقع شوند خاصیت های مغناطیسی ضعیفی در آنها

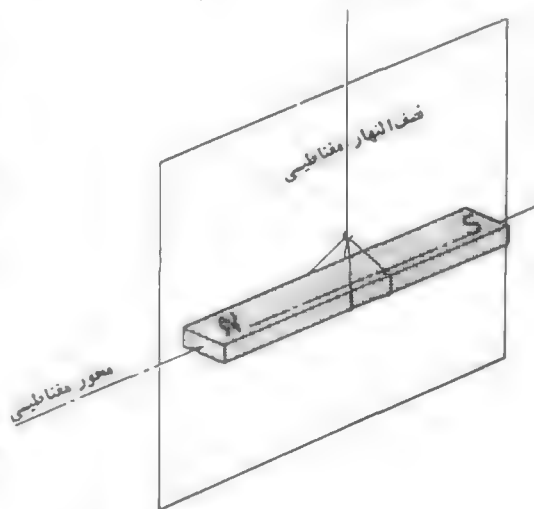
شكل ۶-۳- نصف النهار مغناطیسی صفحه قاعی است كه از محور مغناطیسی آهن ربای آویخته شده ای كه در اثر میدان آهن ربایی زمین در راستای تقریبی شمال و جنوب ایستاده است می گذرد.

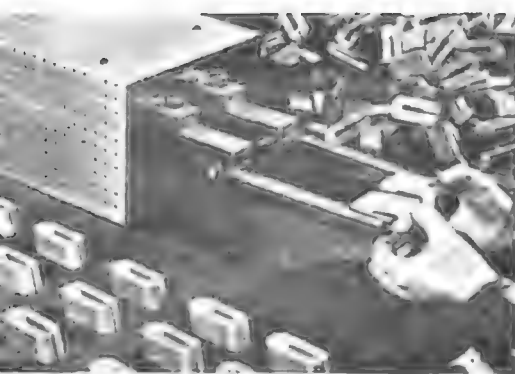
قطبی از آهن ربا كه به سوی شمال متوجه است قطب شمالیاب یا به طور ساده قطب N و قطبی كه به سوی جنوب متوجه است قطب جنوبیاب یا قطب S نامیده می شود.

پوش ۶-۱- آهن ربای آویخته شده در اثر چه عاملی در راستای تقریبی شمال و جنوب قرار می گیرد؟

در این حالت برای آهن ربای آویخته شده می-توان محوری در نظر گرفت كه خاصیت مغناطیسی آهن ربا در اطراف این محور متناوب باشد. بدینیه است پس از آن كه آهن ربا در وضع ثابتی ایستاد این محور نیز در راستای تقریبی شمال و جنوب قرار می گیرد. صفحه قائمی كه از این محور فرضی می گذرد صفحه نصف النهار مغناطیسی نامیده می شود (شكل ۶-۲).

پوش ۶-۲- با بایته آشنایی كه از آهن ربا دارید بگوید اثر قطبهای يك آهن ربا بر قطبهای آهن ربای دیگر چگونه است؟





شکل ۶-۴- طرز ساختن آهن‌ریای تجارتی.

سیم‌پیچ و سوختن آن می‌گردد. نوع قطبهای تیغه بستگی به جهت جریان در سیم پیچ دارد. برای تعیین آنها می‌توانیم دستور زیر را به کار ببریم:

به هر يك از دو سر تیغه که دودن سیم پیچ است نگاه می‌کنیم؛ اگر جهت جریان در حلقه‌های سیم پیچ هم جهت با حرکت عقربه‌های ساعت باشد، آن سر میله که مجاور ماست قطب S است و اگر جهت جریان در خلاف جهت عقربه‌های ساعت باشد، این سر قطب N است.

برای به خاطر سپردن این دستور می‌توان دو علامت S و N را که در شکل ۶-۴ نمایش داده شده است در نظر گرفت.

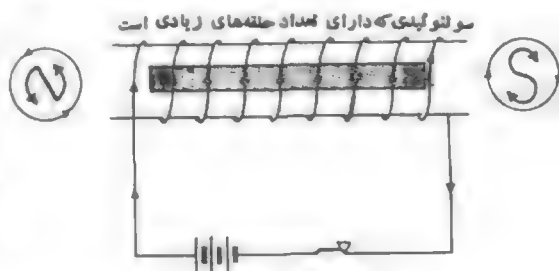
شکل ۶-۴- طرز ساختن آهن‌ریاهای تجارتی به شکل U با G را نشان می‌دهد. برای این منظور جریان شدید الکتریسته را از یک قطعه مس کلفت که مطابق شکل در وسط آنها قرار می‌گیرد در کسری از ثانیه می‌گذرانند.

پرسش ۶-۳- چرا بعضی از آهن‌ریاهای دائمی را به شکل نعل اسب می‌سازند؟

پدیدار می‌شود. ما پاره‌ای از این خاصیتها را در پایان این فصل بررسی خواهیم کرد.

## آهن‌ریا کردن به وسیله جریان الکتریسته

بهترین روش برای -اختن آهن‌ریای دائمی استفاده از خاصیت مغناطیسی جریان الکتریسته است (این خاصیت را در بخش ۷ خواهید دید). شکل (۶-۳) طرز آهن‌ریا کردن يك تیغه فولادی را که درون سیم پیچی به شکل قرقره قرار گرفته است نشان می‌دهد. برای این منظوریك سیم پیچ شامل ۵۰۰ دور (یا بیشتر) سیم مسی روپوشدار و يك باتری ۶ با ۱۲ ولت و يك کلید که مطابق شکل



شکل ۶-۳- طرز آهن‌ریا کردن يك تیغه فولادی به روش الکتریکی.

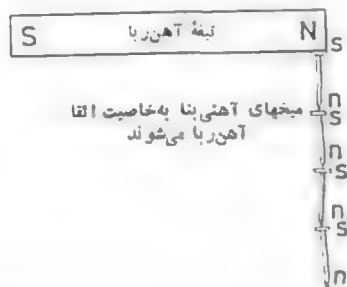
به دنبال هم بسته شده‌اند مناسب است. پس از قرار دادن تیغه فولادی درون سیم پیچ، کلید را که از پیش باز است در مدت کوتاهی می‌بندند و بعد باز می‌کنند. همین مدت کوتاه کافی است که تیغه آهن‌ریا شود و خاصیت مغناطیسی مدتها در آن باقی بماند. نباید کلید را در مدت طولانی بسته نگاه داشت زیرا عبور جریان به مدت طولانی نه تنها تیغه را بیشتر آهن‌ریا نمی‌کند بلکه سبب داغ شدن

## آهن ربا کردن به وسیله القا

هرگاه تیغه ای فولادی که خاصیت مغناطیسی ندارد نزدیک یکی از قطبهای آهن ربایی قرار داده شود (شکل ۵-۶) با به آن متصل گردد در تیغه خاصیت مغناطیسی به وجود می آید که پس از دور کردن آهن ربا، در تیغه باقی می ماند. در این صورت می گوئیم تیغه به وسیله القا آهن ربا شده است.



شکل ۵-۶- آهن ربا کردن به وسیله القا



شکل ۶-۶- میخهای آهنی که به وسیله القا آهن ربا شده و زنجیر مغناطیسی تشکیل داده اند.

در این عمل تیغه طوری آهن ربا می شود که قطبهای غیر هم نام مجاور هم قرار گیرند (به شکل مراجعه شود).

پوش ۶-۴- چگونه می توان این واقعیت را آزمود؟

شکل ۶-۶ چند میخ را نشان می دهد که به دنبال هم جذب قطب N آهن ربا شده و یک زنجیر مغناطیسی تشکیل داده اند. هر یک از میخها که در زنجیر مغناطیسی قرار دارد بنا به خاصیت القای مغناطیسی به میخ دیگر جذب شده است و

نیروی جاذبه بین آنها به علت وجود قطبهای غیر هم نامی است که مجاور هم قرار می گیرند. بنابراین علت جذب شدن يك قطعه آهن یا فولاد به آهن ربا این است که در اثر نزدیک شدن به آهن ربا نخست در آن به وسیله القا خاصیت مغناطیسی به وجود می آید سپس جذب آهن ربا می شود.

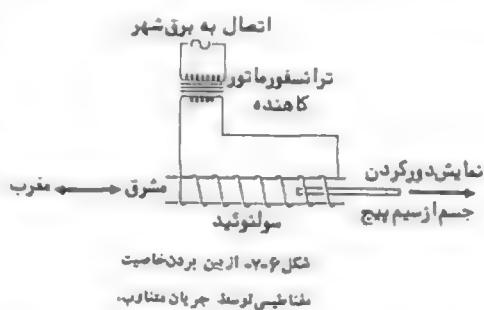
در اینجا جالب است که خاصیت القای مغناطیسی را با خاصیت القای الکتریسته که در بخش ۱ دیدیم مقایسه کنیم. در آن جا دیدیم که اگر بار الکتریکی مشخصی را به يك میله فلزی یا يك کره فلزی که روی پایه عایقی قرار دارد نزدیک کنیم در آن سر میله یادر آن طرف کره که مجاور بار الکتریکی القا کننده است الکتریسته از نوع مخالف پیدا می شود و این درست مشابه چیزی است که در القای خاصیت مغناطیسی پیش می آید. یعنی آن سر میله که نزدیک به قطب آهن ربا القا کننده است قطب مخالف می شود. ولی بین این دو پدیده يك فرق اساسی وجود دارد و آن این است که دو بار الکتریکی القا شده مثبت و منفی را می توان از هم جدا کرد در صورتی که مجزا کردن دو قطب آهن ربا از هم غیر ممکن است.

## از بین بردن خاصیت مغناطیسی

در سالهای پیش آموختید که اگر آهن ربایی را حرارت دهند یا چکش کوی کنند از شدت خاصیت مغناطیسی آن کاسته می شود. برای از بین بردن خاصیت مغناطیسی يك آهن ربا می توان آن را با حد سرخ شدن حرارت داد، سپس در راستای مشرق و مغرب نگاه داشت تا سرد شود. ما این روش را برای از بین بردن خاصیت مغناطیسی توصیه نمی کنیم، زیرا حرارت دادن، سبب ضایع شدن فولاد می گردد.

هر نوع ضربه شدید مانند افتادن آهن ربا یا چکش کاری آن، به ویژه اگر در راستای مشرق و مغرب قرار داده شود، سبب ضعیف شدن خاصیت مغناطیسی می شود.

بهترین روش برای از بین بردن خاصیت مغناطیسی در یک جسم این است که آن را درون سیم پیچی در راستای مشرق و مغرب قرار دهند و از سیم پیچ جریان برق متناوب بگذرانند و در حالی که جریان از سیم پیچ می گذرد جسم را در راستای مشرق و مغرب از سیم پیچ دور کنند (شکل ۶-۷). برای این منظور جریان ۱۲ ولت تا ۲۴ ولت که توسط ترانسفورماتور از برق شهر تأمین می شود کافی است. جریان متناوب در هر دوره تناوب



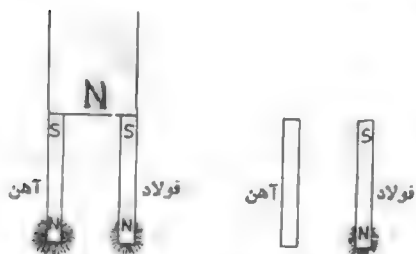
مقداری از خاصیت مغناطیسی را از بین می برد و این کار در هر ثانیه ۵۰ مرتبه تکرار می شود تا وقتی که تمام خاصیت مغناطیسی جسم از بین برود (جریان متناوب را در فصلهای بعد خواهید شناخت).

پوش ۵-۶- چرا باید آهن ربا را در راستای مشرق و مغرب قرار داد؟

مقایسه خواص مغناطیسی آهن و فولاد  
آهن و فولاد از نظر خواص مغناطیسی

تفاوتهایی دارند که تشخیص آنها مهم است. آهن خالص را معمولاً آهن نرم گویند زیرا آهن نرم تفته (سرخ شده در اثر گرما) را می توان به آسانی چکش کاری کرد و به شکل دلخواه در آورد. فولاد، آلیاژی است، از آهن نرم و مقدار درصد کمی کربن و از آهن خالص خیلی سخت تر و محکم تر است برای بررسی خواص مغناطیسی آهن و فولاد دو تیغه یکسان، یکی از آهن و دیگری از فولاد را که از بیش خاصیت مغناطیسی نداشته باشند (طبق شکل ۶-۸) به یکی از قطبهای یک آهن ربا وصل می کنیم. هر دو تیغه به وسیله القا آهن ربا می شوند. هرگاه انتهای آزاد آنها را در براده آهن فرو بریم تیغه آهن اندکی بیش از تیغه فولادی براده آهن جذب می کند. بنابراین اگر نیروی آهن ربا کننده برای آهن و فولاد یکی باشد شدت خاصیت مغناطیسی القایی در آهن خالص اندکی بیش از فولاد است.

هرگاه دو تیغه را بین انگشتان دست محکم نگاه داشته و آهن ربا را از آنها دور کنیم تمام براده های آهن چسبیده به تیغه آهنی فرو می ریزند در صورتی که از براده های چسبیده به تیغه فولادی فقط مقدار کمی می ریزد. این پدیده نشان می دهد که خاصیت مغناطیسی القایی در آهن موقتی و در فولاد دائمی است.



شکل ۶-۸- اختلاف بین خاصیت آهن ربایی در فولاد و آهن



**پرسش ۱-۶-** با يك آهن ربا و چند سنجاق كه به دنبال هم به آن جذب شده اند يك زنجير مغناطیسی تشكيل داده ایم. اگر سنجاق بالای را با دست نگاه داشته و آهن ربا را از آن جدا و دور كنیم بقیه سنجاقها از هم جدا شده و فرو می ریزند. علت را توضیح دهید.

### مواد مغناطیسی سخت و نرم و کاربرد آنها

مواد مغناطیسی كه در وسایل الكتریکی به كار می روند به دو دسته نرم و سخت دسته بندی می شوند. مواد مغناطیسی نرم آنهایی هستند كه خاصیت مغناطیسی القا شده در خود را زود و آسان از دست می دهند، ولی مواد مغناطیسی سخت آنهایی هستند كه خاصیت مغناطیسی تقریباً دائمی پیدا می كنند و هردو دسته دارای اهمیت یكسانند. تا چند سال پیش برای ساختن آهن ربای دائمی از فولاد سخت (آهن ۱ تا ۱/۵ درصد كربن) استفاده می شد. كم كم محققین دریافته اند كه اضافه كردن مقدار کمی تنگستن و کروم و كبالت به فولاد، خاصیت مغناطیسی آن را به میزان زیاد افزایش می دهد! ادامه تحقیق در این زمینه سبب شد كه آلیاژهای ویژه ای برای ساختن آهن رباهای دائمی و بسیار قوی تهیه شود. معروفترین این آلیاژها آلکوماكس، آلنیکو ۲ و تیکونال ۳ هستند كه از آهن و نیکل و كبالت و آلومینیم به نسبت های مختلف ساخته می شوند.

امروزه از آهن رباهای دائمی به شكل های گوناگون و به ابعاد مختلف به مقدار زیاد در ساختن موتورهای الكتریکی و دیناموها و اسباب های اندازه گیری جریان الكتریسته استفاده می شود. همچنین در ساختمان بعضی از وسایل الكتریکی خانگی مانند گوشی تلفن، بلندگوی رادیو و كنتور برق آهن رباهای دائمی به كار می رود. از طرف دیگر در بعضی از وسایل الكتریکی مانند زنگ اخبار، كليدهای خودكار قطع و وصل جریان برق، ترانسفورماتورها، آهن رباهای الكتریکی و استوانه های آهنی درون سیم پیچ دیناموها، احتیاج به آهن رباهایی است كه به سرعت و به آسانی هم آهن ربا بشوند و هم خاصیت مغناطیسی خود را از دست ندهند. در این گونه اسبابها از مواد مغناطیسی نرم مانند آهن خالص یا آلیاژهای مومتال ۴ (۷۳ در صد نیکل، ۲۲ در صد آهن، ۵ درصد مس) و استالوی ۵ (۹۶ درصد آهن، ۴ درصد سیلیسیم) استفاده می شود. بد نیست بدانید كه در سالهای اخیر تحقیقات زیادی روی تبدیل گرد قلزات مختلف به قطعه های فلزی به وسیله گرما و فشار زیاد صورت گرفته است و با این روش مواد مغناطیسی نرم یا سخت مختلفی ساخته اند كه بهترین آهن رباهای دائمی اكنون از آنها ساخته می شود.

### میدان مغناطیسی

بك آهن ربا می تواند بدون این كه با يك

۱- Alcomax

۲- Alnico

۳- Ticonal

۴- Mumetal

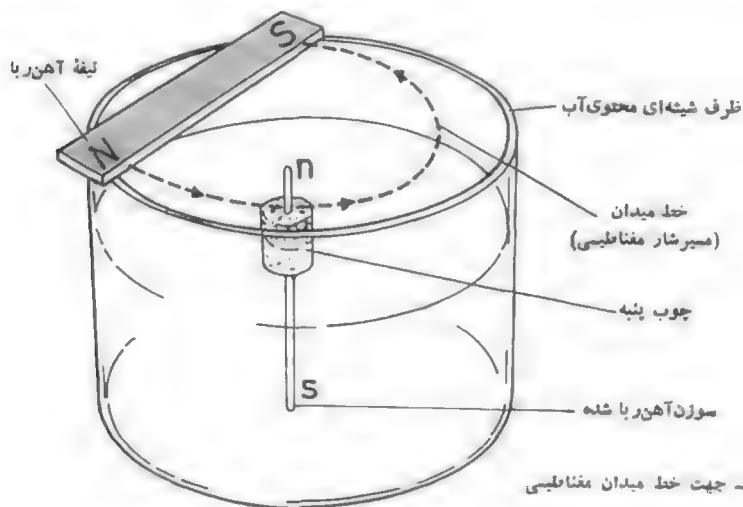
۵- Stalloy

قطعه آهن تماس داشته باشد آن را جذب کند. یا از يك فاصله بر روی آهنربای دیگر اثر کند. نیرویی که يك آهنربا از فاصله‌های کم یا بیش دور بر روی آهن یا آهنربای دیگر وارد می‌سازد به علت وجود میدان مغناطیسی یا میدان نیروی مغناطیسی در اطراف آن است. بنابه تعریف، میدان مغناطیسی يك آهنربا فضای محدود اطراف آهنرباست که در آن فضا آثار مغناطیسی وجود دارد. میدان مغناطیسی را می‌توان با خطهایی به نام خطوط میدان مغناطیسی یا خطوط نیروی میدان مغناطیسی نمایش داد. به نظر می‌رسد که در میدان مغناطیسی اطراف يك آهنربا چیزی جریان دارد که به آن شار مغناطیسی یا خلوی مغناطیسی می‌گویند. می‌توان گنت که خطوط میدان مغناطیسی در واقع مسیر شار مغناطیسی از يك قطب به قطب دیگر روند. وجود نامرئی خطوط میدان یا به عبارت دیگر شار مغناطیسی را می‌توان با

چند روش زیر آشکار ساخت.

الف - شکل ۶-۹ آهنربای تیغه‌ای NS

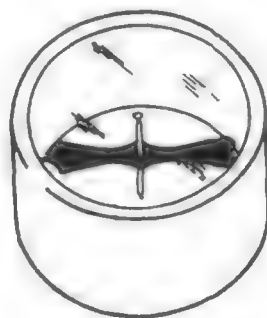
را نشان می‌دهد که روی لبه تحت شیشه‌ای پر از آبی قرار داده شده است و يك چوب پنبه بزرگ که از سوراخ وسط آن میله باریک آهنربا شده  $n8$  گذرانده شده بر سطح آب شناور است. اگر قطب  $n$  میله که بالاست نزدیک قطب  $N$  تیغه آهنربا قرار داده شود دو قطب هتنام  $N$  و  $n$  یکدیگر را می‌رانند و میله آهنربای شناور ضمن دور شدن از  $N$  توسط قطب  $S$  کشیده می‌شود و در نتیجه روی يك مسیر منحنی که در شکل نمایش داده شده است حرکت می‌کند و به قطب  $S$  می‌رسد. این مسیر در واقع نمایش یکی از خطهای میدان مغناطیسی است. اگر قطب  $S$  میله بالا باشد و نزدیک قطب  $S$  تیغه قرار داده شود حرکت آهنربای شناور بر روی مسیری مانند مسیر اولیه ولی در جهت



شکل ۶-۹- جهت خط میدان مغناطیسی

عکس صورت خواهد گرفت. جهت حرکت آهن ربای شناور بستگی به این دارد که کدام قطب سوزن بالا باشد و یکی از دو جهت حرکت را که در واقع جهت خط میدان است می توان به عنوان جهت استاندارد انتخاب کرد. بنا بر قرارداد، جهت خط میدان مغناطیسی یا جهت شار مغناطیسی در اطراف آهن ربا، جهت حرکت يك قطب  $n$  آزاد از قطب  $N$  به  $S$  آهن رباست.

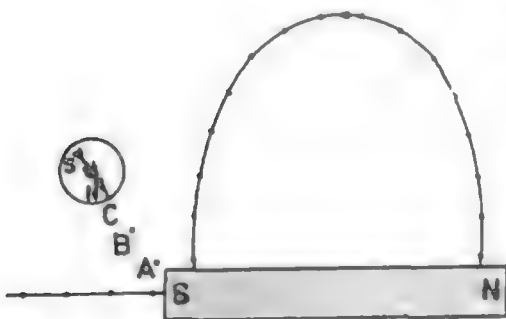
ب - بابل عقربه مغناطیسی کوچک می توان مجموعه ای از خطوط میدان مغناطیسی یا به عبارت دیگر طیف مغناطیسی يك آهن ربا را رسم کرد. عقربه مغناطیسی کوچک روی پایه قائم کوتاهی قرار دارد و می تواند آزادانه در سطح افقی به هر طرف بچرخد. این عقربه درون جعبه کوچکی قرار دارد که بدنه آن از يك ماده غیر مغناطیسی مانند برنج ساخته شده و بالا و پایین جعبه شیشه است و مجموعه آن به شکل يك قطب نمای ساده است (شکل ۶-۱۰).



شکل ۱۰-۶- عقربه مغناطیسی

شکل ۱۱-۶ طرز استفاده از این عقربه مغناطیسی را برای رسم خطوط طیف مغناطیسی آهن ربای تیغه ای  $NS$  نشان می دهد. آهن ربا را روی

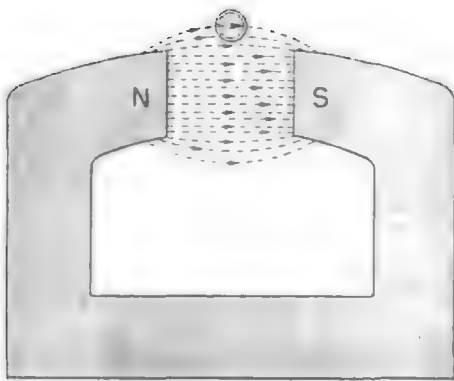
صفحه کاغذ سفیدی قرار داده و آزمایش را از قطب  $S$  شروع می کنیم؛ عقربه مغناطیسی را نزدیک قطب  $S$  روی صفحه کاغذ می گذاریم و امتداد دوانتهای  $n$  و  $S$  آن را روی کاغذ با مداد نشان می کنیم (مثلا نقاط  $A$  و  $B$ )؛ سپس عقربه را جابه جایی کنیم تا قطب  $n$  آن بر  $B$  منطبق شود و وضعیت تازه  $S$  را با نقطه دیگری (مثلا  $C$ ) نشان می کنیم و این کار را ادامه می دهیم. نقاط به دست آمده را به هم وصل می نماییم. منحنی به دست آمده نمایش خط میدان مغناطیسی یا مسیر فلوی مغناطیسی است.



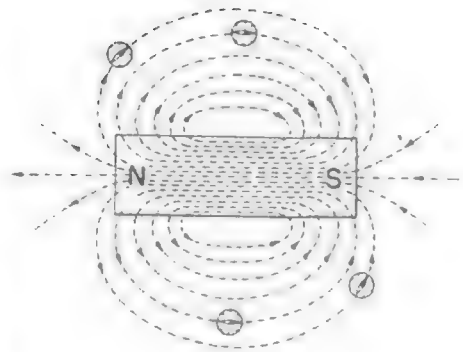
شکل ۶-۱۱- رسم خطوط میدان مغناطیسی به وسیله عقربه مغناطیسی.

با این روش می توان طیف آهن رباهای ضعیف را رسم کرد. در شکل (۶-۱۲)، طیف مغناطیسی کاملتری از يك آهن ربای تیغه ای و در شکل ۶-۱۳ طیف مغناطیسی میان دو قطب يك آهن ربای نعلی شکل نمایش داده شده است. تراکم خطوط میدان در میان این دو قطب نشان می دهد که در آنجا میدان مغناطیسی شدیدی وجود دارد.

ج- به وسیله براده آهن می توان به آسانی طیف مغناطیسی يك آهن ربا را تشکیل داد. برای



شکل ۶-۱۳- طیف مغناطیسی بین دو قطب غیر همنام یک آهنربای نعلی شکل.

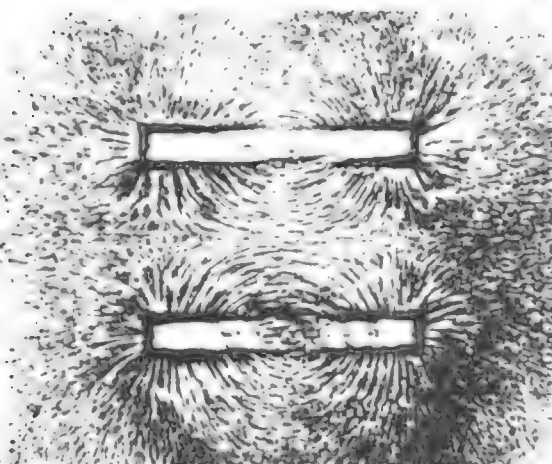


شکل ۶-۱۴- نمایش طیف مغناطیسی در اطراف یک تیغه آهنربا.

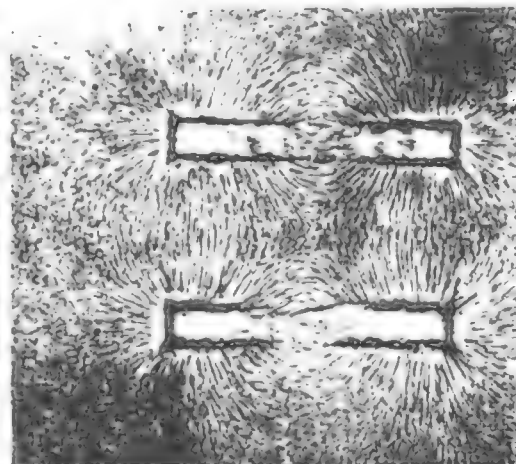
پرسش ۶-۷- برای ضبط دائمی یک مغناطیسی که به این ترتیب تشکیل می‌شود چه راهی پیشنهاد می‌کنید؟

شکل ۶-۱۴ دو طیف را که به وسیله براده آهن از دو آهنربا به دست آمده است نشان می‌دهد. در یکی از آنها قطبهای همنام و در دیگری قطبهای

این منظور کافی است آهنربا را روی سطح افقی قرار داده و یک صفحه مقوای روی آن بگذاریم و مقداری براده نرم آهن روی آن پاشیم و ضربه‌های ملایمی به چند نقطه از مقوا وارد کنیم تا خطوط میدان مغناطیسی کاملاً مشخص شوند و طیف مغناطیسی تشکیل گردد.



ب- قطبهای غیر همنام مقابل هم هستند



ا- قطبهای همنام مقابل هم هستند

شکل ۶-۱۴- طیف مغناطیسی که به وسیله براده آهن به دست آمده است.

غير هنام مجاور هم بوده اند. شما هم می توانید به آسانی نظیر این طیفهارا با کمی دقت تشکیل دهید. علت تشکیل طیف به وسیله براده آهن را می توان چنین توجیه کرد که هر يك از براده ها بنا به خاصیت القای مغناطیسی آهن ربای کوچکی می شود. وقتی که به صفحه مقوا ضربه وارد می آید این آهن - ربا های كوچك آزادانه چرخیده در راستای خطوط میدان قرار می گیرند. با این روش نمی توان طیف آهن ربا های ضعیف را تشکیل داد زیرا میدانهای ضعیف نمی توانند براده های آهن را به طور قابل ملاحظه ای آهن ربا کنند.

### كره زمین مانند يك آهن رباست

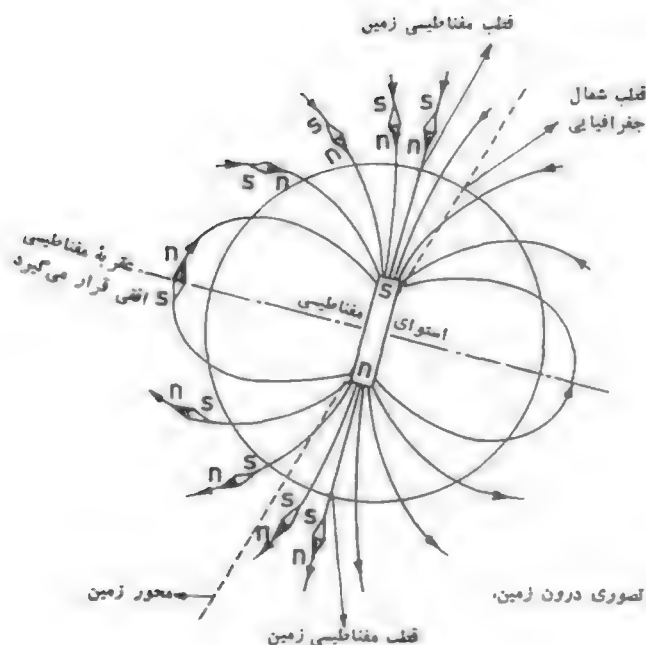
این فكر كه «زمین مانند يك آهن رباست» نخستین بار در آخر قرن شانزدهم به وسیله ویلیام گیلبرت<sup>۱</sup> ضمن مطالعه خواص مغناطیسی سنگهای مغناطیسی طبیعی كروی شكل ابراز شد. تشابه بین میدان مغناطیسی سنگهای مغناطیسی كروی شكل و میدان مغناطیسی زمین گیلبرت را متوجه این واقعیت كرد كه زمین مانند يك آهن رباست. مبدأ و علت پیدایش خاصیت مغناطیسی زمین هنوز مورد بحث دانشمندان است و آنچه تاكنون درباره علت وجود این خاصیت در زمین گفته شده است جنبه فرض و حدس دارد. ولی اژنظر آثار مغناطیسی، رفتار زمین به این می ماند كه درون زمین تیغه آهن - ربا ی کوتاهی وجود دارد كه راستای آن با امتداد محور دوران زمین زاویه كوچكي می سازد و قطب S آن در نیمكره شمالی واقع است (شكل ۶-۱۵).

زاویه ای كه راستای این آهن ربای تصویری بامحور زمین می سازد موجب می شود كه عقربه قطب نما راستای واقعی شمال و جنوب (شمال و جنوب جغرافیایی) زمین را نشان ندهد.

پروش ۶-۸ - شمال و جنوب واقعی زمین چه تفاضی هستند؟

بنابراین در هر نقطه از سطح زمین، صفحه نصف النهار مغناطیسی (یعنی صفحه قائمی كه از محور مغناطیسی عقربه قطب نما با آهن ربای آویخته شده می گذرد و ما آن را در آغاز این فصل تعریف كرده ایم) با صفحه نصف النهار جغرافیایی (یعنی صفحه قائمی كه در نقطه مورد نظر از محور دوران زمین می گذرد) زاویه ای می سازد كه آن را زاویه انحراف مغناطیسی گویند. زاویه انحراف مغناطیسی در نقاط مختلف زمین فرق می كند و نكته جانب این است كه این زاویه در يك نقطه از زمین هم مقدار ثابتی نیست و با گذشت زمان به كندی تغییر می كند. در كشتیرانی و هواپیمایی، دانستن زاویه انحراف مغناطیسی و چگونگی تغییرات آن در نقاط مختلف زمین اهمیت زیاد دارد. زیرا، در كشتی و هواپیما برای تعیین مسیر حرکت از قطب نما استفاده می شود. نقشه های خاصی كه زاویه انحراف مغناطیسی در نقاط مختلف زمین روی آنها مشخص شده است نیز مورد استفاده قرار می گیرد.

پروش ۶-۹ - به نظر شما آیا باید این گونه نقشه ها هر چند سال يك بار عوض و با مشخصات جدید چاپ شوند یا این كه يك نقشه را همیشه می توان به كار برد؟



شکل ۶-۱۵- آهن ربا ی تصویری درون زمین،

(عقربه مغناطیسی عمودی قرار می گیرد)

## میل مغناطیسی

گرگاه يك عقربه مغناطیسی از گرانیگاهش منحنی بدون تاب آویخته شود عقربه علاوه بر این که در سطح نصف النهار مغناطیسی زمین قرار می گیرد قطب N آن نیز به سوی پایین متمایل می شود و راستای عقربه با راستای افقی زاویه ای می سازد. این زاویه را زاویه میل مغناطیسی یا به اختصار میل مغناطیسی نامیده اند. علت این است که وقتی عقربه مغناطیسی از گرانیگاهش آویخته شود، گشاور نیروی وزن آن نسبت به محور آویز صفر است و تنها نیروهای مؤثری که سبب چرخش عقربه می شوند نیروهای مغناطیسی هستند که بر قطبهای آن اثر می کنند. این نیروها سبب می شوند که عقربه در

راستای واقعی خطوط میدان مغناطیسی زمین قرار گیرد. بنابراین، زاویه میل مغناطیسی زاویه ای است که بین راستای خطوط میدان مغناطیسی زمین و راستای افقی درست می شود. قطب N عقربه قطب نمای معمولی به طرف پایین متمایل نمی شود زیرا، گرانیگاه عقربه زیر تکیه گاه آن قرار دارد و عقربه طوری ساخته شده است که در وضع افقی تعادل آن پایدار بماند. شکل ۶-۱۵ نشان می دهد که چگونه زاویه میل در نقاط مختلف سطح زمین تغییر می کند. در دو قطب مغناطیسی زمین، عقربه در راستای قائم قرار می گیرد در صورتی که در استوای مغناطیسی به وضع افقی می ایستد.

## اندیشه‌های نو دربارهٔ خاصیت مغناطیسی ماده

در قرن هیجدهم میلادی دانشمندان معتقد بودند که خاصیت مغناطیسی به صورت يك سیال به نام سیال مغناطیسی در يك جسم آهن ربا وجود دارد یا از يك جسم به جسم دیگر منتقل می‌شود. در اواسط قرن نوزدهم، فرضیه دیگری به نام تئوری مولکولی مغناطیسی توسط ویلهلم وبر<sup>۱</sup> مطرح و جانشین فرضیه سیال مغناطیسی شد. بنا به تئوری مولکولی مغناطیسی هر يك از مولکولهای يك ماده مغناطیسی خود، آهن ربای دائمی کوچکی است که مانند آهن رباهای بزرگ دارای دو قطب است. وبر، تئوری خود را از این پدیده نتیجه گرفت که هر گاه يك آهن ربا از وسط به دو نیم شود، هر نیمه، آهن ربای مستقلی خواهد بود که دارای دو قطب N و S است. اگر عمل تقسیم ادامه یابد هر جزئی که به دست می‌آید باز هم مانند يك آهن ربا يك کامل دارای دو قطب است (شکل ۶-۱۶). بنابراین طبق تئوری وبر، اگر عمل تقسیم آهن ربا می‌نهایت بار ادامه یابد تا به مولکول برسد هر مولکول نیز به صورت يك آهن ربا دارای دو قطب است که می‌توان آن را دو قطبی مغناطیسی نامید.



شکل ۶-۱۶ هر جزئی که از شکسته شدن يك آهن ربا به دست می‌آید خود آهن ربای مستقلی است.

تئوری مولکولی مغناطیسی گام بزرگی در تکامل و توجیه خواص مغناطیسی ماده بود، ولی بعد از وبر دانشمندان خاصیت مغناطیسی آنها را با استفاده از اثر مغناطیسی جریان الکتریسته توجیه کردند. در شکل ۶-۳ دیدید که برای ساختن يك آهن ربا می‌توان از جریان الکتریسته استفاده کرد. از طرف دیگر، دانستید آنها دارای ذرات بارداري به نام الکترون هستند که در مدارهایی به دور مرکز اتم می‌چرخند. رفتار الکترونها به دور هسته اتم مشابه رفتار جریانی است که از هر دور سیم در شکل نامبرده می‌گذرد. همان طور که عبور جریان الکتریسته (یعنی الکترونها) از حلقه‌های سیم بیچ در آن میدان مغناطیسی ایجاد می‌کند؟ حرکت الکترونها هم به دور هسته اتم، در آن میدان مغناطیسی به وجود می‌آورد. بنابراین می‌توان گفت در هر ماده يك نوع اثر مغناطیسی مشاعله می‌شود هر چند که مقدار آن خیلی کم باشد.

بر اساس این اندیشه نو، مواد به ظاهر غیر مغناطیسی (که در آغاز این فصل از آنها یاد کردیم) به دو دسته دیامانیتیک<sup>۲</sup> و پارامانیتیک<sup>۳</sup> تقسیم می‌شوند. چنان که گفتیم موادی هم که به شدت مغناطیس می‌شوند فرومانیتیک نام دارند.

در زیر نخست مواد دیامانیتیک و پارامانیتیک را به اختصار شرح می‌دهیم سپس به بحث دربارهٔ مواد فرومانیتیک می‌پردازیم.

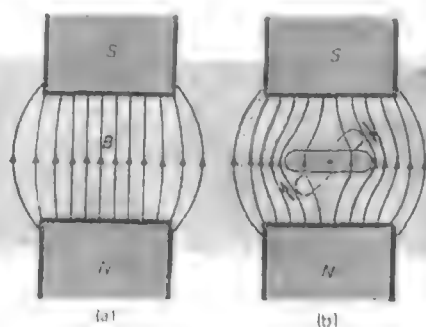
۱- Wilhelm Weber

۲- میدان مغناطیسی حاصل از جریان الکتریسته را در بخش ۷ خواهید دید.

۳- Diamagnetic      ۴- Paramagnetic

**مواد دیامانیٹیک** - در بسیاری از مواد الکترونها در دو دسته به تعداد مساوی در خلاف جهت هم به دور هسته می چرخند، بنابراین اگر برای این مواد از خارج میدان مغناطیسی اثر نکند، آثار مغناطیسی حاصل از گردش دو دسته الکترون اثر یکدیگر را خنثی می کنند، در نتیجه ماده فاقد خاصیت مغناطیسی است. هر گاه چنین ماده ای در یک میدان مغناطیسی قرار گیرد در مدارهای الکترونها آشفتگی مختصری پیدا می شود. این آشفتگی سبب می شود که خاصیت مغناطیسی بسیار ضعیفی درون ماده ظاهر شود که آن را دیامانیٹیم می نامند. این مواد را به این جهت دیامانیٹیک می گویند که اگر قطعه ای از آنها به شکل تینه یا میله در میدان مغناطیسی شدید آویخته شود، بر خلاف مواد فرومانیٹیک و پارامانیٹیک راستای آن عمود بر راستای خطوط نیروی مغناطیسی قرار می گیرد. (شکل ۶-۱۷)

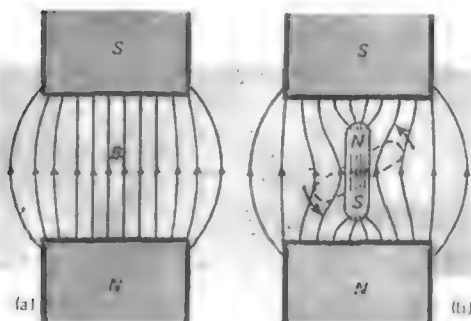
(الف) بنابراین مواد دیامانیٹیک از قطبهای آهن و بارانده می شود. تمام غیر فلزها به جز  $O_p$  و بسیاری از فلزها



الف - وضع خطوط میدان مغناطیسی میان دو قطب یک آهن ربا پیش از قرار گرفتن و بعد از قرار گرفتن یک ماده دیامانیٹیک در میدان

مانند یسوت، نقره، طلا، مس، جیوه و سرب و بسیاری از نمکها و تقریباً تمام ترکیبات آلی دیامانیٹیک هستند.

**مواد پارامانیٹیک** - در بعضی از مواد عده الکترونها در دو دسته ای که در خلاف جهت به دور هسته می چرخند مساوی نیستند. در نتیجه خاصیت مغناطیسی هر اتم یا هر مولکول صفر نیست و اتم یا مولکول در حکم یک آهن ربا ی بسیار ضعیف است. هنگامی که میدان مغناطیسی خارجی وجود ندارد این اتمها یا مولکولها با بی نظمی به طور اتفاقی در ماده قرار گرفته اند، در نتیجه ماده فاقد خاصیت مغناطیسی است. ولی اگر ماده در میدان مغناطیسی قرار داده شود تعدادی از اتمها یا مولکولها طوری تغییر وضع می دهند که میدان مغناطیسی آنها تقریباً در جهت میدان خارجی قرار می گیرد و در نتیجه ماده خاصیت مغناطیسی ضعیفی پیدا می کند. این خاصیت ضعیف مغناطیسی را پارامانیٹیم نامند. مواد پارامانیٹیک به زحمت جذب قطبهای آهن ربا می شوند. بعضی از گازها به ویژه



ب - وضع خطوط میدان مغناطیسی میان دو قطب یک آهن ربا پیش از قرار گرفتن و بعد از قرار گرفتن یک ماده پارامانیٹیک در میدان

شکل ۶ - ۱۷ - قرار گرفتن یک ماده دیامانیٹیک در میدان آهن ربائی

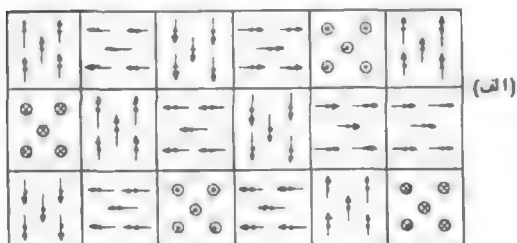


O<sub>2</sub> و تعدادی از فلزها مانند پلاتین، سدیم، آلومینیم، کروم، منگنز و برخی از نمکهای فلزی پارامانیتیک هستند.

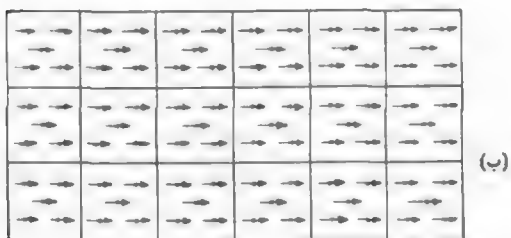
**مواد فرومانیتیک** - در این مواد، اتمها بر خلاف اتمهای پارامانیتیک به طور انفرادی عمل نمی کنند بلکه تعدادی که وضع مشترک دارند به هم پیوسته و گروههای کوچکی را تشکیل داده اند. هر گروه، بخش میکروسکوپی کوچکی از ماده را تشکیل داده است. همه اتمهای موجود در یک بخش که در واقع دو قطبهای کوچکی هستند، طوری ردیف شده اند که هر بخش را به صورت یک مغناطیس میکروسکوپی در آورده اند. بنابراین هر یک از این بخشها را حوزه یا بخش مغناطیسی می نامیم. در مواد فرومانیتیک در حالتی که خاصیت مغناطیسی نداشته باشند محورهای مغناطیسی بخشها به طور

نامنظم در جهت های مختلف قرار گرفته اند و اثر یکدیگر را خنثی کرده اند (شکل ۶ - ۱۸ - الف) ولی هنگامی که ماده فرومانیتیک (مثلاً یک تیغه فولادی) در یک میدان مغناطیسی قرار می گیرد اتمهای موجود در بعضی از این بخشها طوری می چرخند که محورهای مغناطیسی آنها تقریباً در راستای میدان قرار گیرد. اگر میدان مغناطیسی به اندازه کافی قوی باشد محورهای مغناطیسی تمام بخشها در امتداد میدان قرار می گیرد و در این حالت ماده بیشترین خاصیت مغناطیسی خود را پیدای کند یا به اصطلاح، از خاصیت مغناطیسی اشباع می شود (شکل ۶ - ۱۸ - ب).

در شکل ۶ - ۱۸ بخشها برای آسانی کار به شکل مکعبهای یکسان در نظر گرفته شده اند در صورتی که در واقع شکل و حجم این بخشها در



الف - حالتی که جسم مغناطیسی نیست: اتمهای هر بخش، در یک وضع قرار دارند ولی محورهای مغناطیسی بخشها به طور اتفاقی در تمام جهتها قرار گرفته اند.



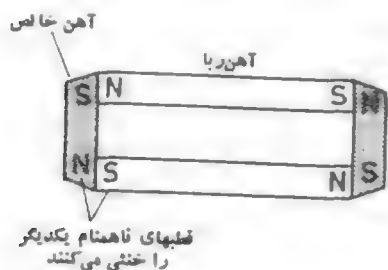
ب - حالتی که جسم، مغناطیس شده است. همه اتمها (نه بخشها) طوری چرخیده اند که محورهای مغناطیسی بخشها را در راستای میدان قرار داده اند.

شکل ۶-۱۸- نمایش از تئوری جدید مغناطیسی در مواد فرومانیتیک

يك ماده يا در مواد مختلف يكي نيست. در اين شكل اتمها كه مغناطيسهاي كوچكي هستند يا به عبارت ديگر دوقطبيها با علامت  $\pm$  مشخص شده اند و نوک بيكان، قطب N را نشان مي دهد.

وقتي كه ميدان محرك خارجي از بين مي رود قطبهاي دو قطبيهاي آزاد و همنامي كه در دو انتهاي تبغه قرار دارند بكدیگر را می رانند. اين عمل موجب می شود كه نظم محورهای مغناطيسي بخشهای انتهایی دو سر تبغه به هم بخورد و در نتیجه قطبهای مغناطيسي درست در دو انتهای جسم نباشند.

تیغه ای، آنها را به صورت چفت، مطابق شکل ۶-۱۹- نگاهداری می کنند. دو قطعه آهن نرم كه در دو طرف آهن ربا قرار می گیرند بنا به خاصیت الف آهن ربا می شوند، به طوری كه قطبهای مخالف مقابل هم واقع شوند. در نتیجه قطبهای آزادی كه در بالا



شكل ۶-۱۹- طرز نگاهداری آهن رباهای تیغه ای.

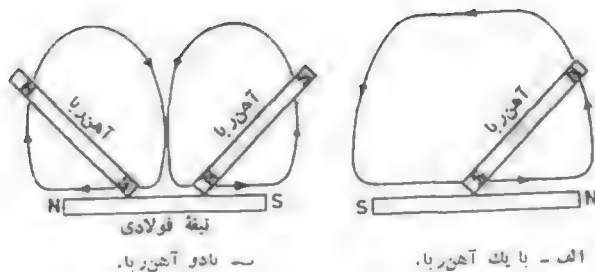
به آنها اشاره کردیم از بین می روند و مسئله انحراف دو قطبها و ضعیف شدن آهن ربا خود به خود منتفی می شود.

پرش ۶-۱۰- برای جلوگیری از ضعیف شدن يك آهن رباي نعلی شكل چه باید كرد؟

جلوگیری از ضعیف شدن تدریجی آهن ربا آهن ربا، با گذشت زمان، خود به خود مقداری از خاصیت مغناطيسي خود را از دست می دهد و ضعیف می شود. علت این است كه دو قطبيهای آزاد موجود در دو سر آهن ربا به تدریج تغییر جهت می دهند. برای جلوگیری از ضعیف شدن آهن رباهای

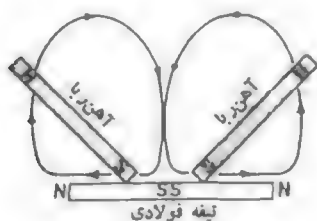
## خودتان آزمایش کنید

- ۱) با مالیدن يك آهن رباي دائمی به يك تیغه فولادی یا يك سوزن آهن ربا بسازید. الف - يكي از قطبهای يك آهن ربا را مطابق شكل ۶-۲۰- الف، دريك جهت، سرتاسر يك تیغه فولادی (یا يك سوزن) كه آهن ربا نيست چند بار بكشید و پس از آن كه تیغه آهن ربا شد قطبهایش را به وسیله عقربه قطب نما مشخص كنید. در نظر داشته باشید كه انهای تیغه كه عمل مالش به آن ختم می شود همواره مخالف قطبی است كه روی نیمه مالیده می شود (به شكل ۶-۲۰ مراجعه كنید).



شكل ۲۰-۶ - تيفه آهنربا به وسيله مالن.

ب - دو آهنربای دائمی یکسان انتخاب کنید و دو قطب ناهم نام آنها را مطابق شکل ۲۰-۶ - ب با هم از وسط يك تيفه فولادی (یا يك سوزن) که آهنربا نیست در دوسوی مخالف روی آن چند بار بکشید و قطبهای تيفه (یا سوزن) آهنربا شده را به وسیله عقربه قطب نما مشخص کنید.



شكل ۲۱-۶ - آهنربا با دو قطب هم نام.

ج - آزمایش را با دو آهنربا تکرار کنید ولی این بار به جای مالیدن دو قطب ناهم نام دو آهنربا، دو قطب هم نام آنها را با هم مطابق شکل ۲۱-۶ از وسط در دوسوی مخالف، روی يك تيفه فولادی دیگر (که آهنربا نیست) بکشید و به وسیله عقربه قطب نما تحقیق کنید که در دو سرتيفه دو قطب هم نام به وجود می آید و با براده آهن میزان جذب براده را در وسط این تيفه بررسی کنید و آن را با تيفه های آهنربایی که از دو آزمایش اول به دست آورده اید مقایسه نمایید و گزارش دهید.

۲) زاویه میل را اندازه بگیرید. يك سوزن فولادی نسبتاً بلند با يك تيفه فولادی باریک را که آهنربا نیست به وسیله نخ بدون تابی از مرکز ثقل آن طوری آویزان کنید که درست در راستای افقی بایستد و گره نخ را محکم کنید تا جابه جا نشود. بدون دست زدن به وضع نخ، سوزن یا تيفه را درون سیم بیچی قرار دهید و به وسیله جریان برق آهنربا کنید. اگر سوزن یا تيفه آهنربا شده را دوباره با همان نخ که به آن بسته اید (و وضع آن را تغییر نداده اید)

آویزان کنید علاوه بر این که در راستای شمال و جنوب مغناطیسی می‌ایستد قطب شمالیاب آن نیز باین می‌رود و راستای سوزن (یا تیغه) با راستای افقی زاویه‌ای می‌سازد که زاویه میل است. چنان که دیدید زاویه میل مانند زاویه انحراف در نقاط مختلف زمین تغییر می‌کند. این زاویه در سطح استوا صفر است و هر چه به قطب زمین نزدیکتر شویم اندازه آن بزرگتر می‌شود. (به شکل ۶-۱۵ مراجعه کنید).

به وسیله نقله این زاویه را اندازه بگیرید و با توجه به این که زمین در حکم يك آهنرباست و ما در نیمکره شمالی هستیم علت پایین رفتن قطب شمالیاب آهنربا را توضیح دهید.

### به این پرسشها پاسخ دهید

۱) يك آهنربا و يك قطعه نخ در اختیار دارید. چگونه با این وسیله قطب N آهنربا را معین می‌کنید؟

۲) چگونه می‌توانید به کمک يك عقربه قطب نما، قطب N يك آهنربا را مشخص کنید؟

۳) يك سر میله آهنی را که آهنربا نیست نزدیک قطب S يك آهنربا قرار می‌دهیم. توضیح دهید چگونه در اثر القا در این میله خاصیت مغناطیسی پیدا می‌شود؟ چرا میله از طرف سری که نزدیک قطب S آهنرباست جذب این قطب می‌گردد؟

۴) در نظر بگیرید که سه سوزن خیاطی، به ظاهر کاملاً مشابه، در اختیار شما گذاشته شده است. یکی از آنها به طور معمولی آهنربا شده است. دیگری طوری آهنربا شده است که دو قطب هماء در وسط و دو قطب هماء دیگر در دو سر دارد و سومی آهنربا نیست. اگر فقط وسیله آویختن در اختیار داشته باشید چگونه آنها را از هم تشخیص می‌دهید؟

۵) می‌خواهیم يك سوزن خیاطی را طوری آهنربا کنیم که نوك تیز آن قطب S بشود این کار را:

الف - چگونه باید بایك آهنربای دائمی انجام دهیم،

ب - چگونه باید با جریان الکتریسته انجام دهیم؟

ضمیمه توضیح عربك از دو روش، شکلی که طرز کار را نشان دهد نیز رسم کنید

۶) توضیح دهید:

الف - چگونه از براده آهن برای نمایش طیف مغناطیسی يك آهنربای تیغه‌ای استفاده

می‌شود؟

ب - اگر عقربه مغناطیسی دو یکی از نقاط این طیف گذارده شود در چه وضعی قرار

خواهد گرفت؛

ج - اگر در يك قسمت از طيف آهن ربا، تراكم خطوط میدان مغناطیسی زیاد باشد مفهوم آن چیست؟

۷) با رسم يك شكل، شش خط كامل میدان مغناطیسی را در اطراف يك آهن ربای تیغه ای نمایش دهید و جهت آنها را با یك نشانه مشخص نمایید. طرز قرار گرفتن عقربه مغناطیسی را در این میدان نمایش دهید.

۸) به نظر شما خطوط میدان مغناطیسی زمین در يك فضای خیلی كوچك (مثلا فضای اتاق) كه در آنجا آهن ربا با ماده مغناطیسی دیگری وجود ندارد درجه راستایی هستند و نیست به هم چگونه اند؟

اگر در این فضا يك آهن ربا با يك قطعه آهن وجود داشته باشد آیا در وضع خطوط میدان زمین آشفتگی حاصل خواهد شد؟ در صورتی كه جواب مثبت است با رسم خطوط نیرو این آشفتگی را نشان دهید.

۹) آهن ربای الفابی چیست؟ با آوردن يك مثال درباره آن به اختصار توضیح دهید.

۱۰) آزمایشی را شرح دهید كه به وسیله آن اختلاف بین خواص مغناطیسی آهن نرم و فولاد آشكار شود و نتایجی را كه از آن می گیرید بیان كنید. کدام يك از این دو فلز در موارد زیر به كار می رود؟

الف - هسته آهن ربای الكتریکی، ب - عقربه قطب نما، ج - آهن ربای زنگ اخبار.

۱۱) توضیح دهید چرا:

الف - يك عقربه مغناطیسی كه روی نوك سوزن قائمی سوار است و می تواند آزادانه در سطح افقی بچرخد همواره در راستای معینی قرار می گیرد،

ب - براده های آهن در سطح ورق مقوا كه روی يك آهن ربای قوی قرار دارد به هنگام زدن ضربه های ملایم به مقوا، طیف مغناطیسی تشكيل می دهد؟

۱۲) توضیح دهید چگونه می توان خاصیت آهن ربایی يك تیغه آهن ربا را از بین برد.

۱۳) زاویه های انحراف و میل را تعریف كنید و روش ساده ای را برای تعیین زاویه میل شرح دهید.

۱۴) چرا نمی توان شدت خاصیت مغناطیسی يك آهن ربا را بی نهایت افزایش داد؟

۱۵) توضیح دهید چگونه می توان از میدان مغناطیسی زمین برای آهن ربا كردن يك میله آهنی خالص استفاده كرد؟ در چه صورت شدت آهن ربایی حاصل بیشترین مقدار ممكن را دارد؟ قطب های میله را به طور وضوح مشخص كنید.

۱۶) وقتی كه عقربه قطب نما از درون آزمایشگاه به محلی خارج از ساختمان برده می شود

اغلب تغییر جزئی در راستایی که نشان می‌داد حاصل می‌شود. علت آن چیست

## پاسخ به پرسشهای متن

۱-۶) می‌دانید، زمین در حکم آهن ربای بزرگی است که قطبهای آن نزدیک قطبهای جغرافیایی قرار دارد بنابراین مانند یک آهنربا بر روی آهنربای دیگر اثر می‌کند و آن را تحت تأثیر میدان مغناطیسی خود قرار می‌دهد. بنابراین عاملی که آهنربا را در راستای دیگر تقریبی شمال و جنوب قرار می‌دهد میدان مغناطیسی زمین است.

۲-۶) دو قطب همنام یکدیگر را می‌رانند و دو قطب ناهمنام یکدیگر را می‌ربایند.

۳-۶) به دو دلیل: یکی این که دو قطب آهنربا به هم نزدیک می‌شوند و اثر مجموع آنها بر روی یک قطعه آهن بیش از یک قطب تنهاست. دیگر این که در فاصله میان دو قطب میدان شدید آهنربایی پیدا می‌شود که خطوط میدان آن موازی است.

۴-۶) تشخیص قطبها با نزدیک کردن عقربه مغناطیسی به آنها.

۵-۶) برای این که تحت اثر میدان مغناطیسی زمین که در راستای شمال و جنوب است خاصیت مغناطیسی پیدا نکند.

۶-۶) سنجاقها از جنس آهن تقریباً خالصند و به سرعت خاصیت مغناطیسی خود را از دست می‌دهند.

۷-۶) می‌توان قبلاً سطح مقواریا به موم آغشته کرد و پس از تشکیل طیف، صفحه را گرم کرد تا موم ذوب شود و براده‌های آهن را نگاه دارد. می‌توان طیف را در تاریکخانه روی صفحه کاغذ حساس عکاسی تشکیل داد و با تاباندن نور بر آن، عکس طیف را بر صفحه انداخت و ظاهر کرد.

۸-۶) محل تلاقی محور فرضی دوران زمین با سطح کره زمین.

۹-۶) باید هر چند سال یکبار نقشه‌ها براساس اندازه‌گیری زاویه‌های جدید انحراف مغناطیسی چاپ شوند زیرا زاویه انحراف مغناطیسی ثابت نیست و با گذشت زمان تغییر می‌کند.

۱۰-۶) کافی است یک قطعه آهن خالص، چسبیده به دو سر آهنربا قرار داده شود.



## اثر مغناطیسی جریان برق

در اوایل قرن نوزدهم میلادی مقالاتی درباره این موضوع انتشار یافت که برق آسمان خاصیت مغناطیسی عتربه قطب نماها را تغییر می دهد و کاردها و قاشقها را آهن ربا می کند . عده ای از محققان ادعا کردند که در اثر تخلیه خازن الکتریکی در سوزنهای فولادی آنها را آهن ربا کرده اند . مقالات نامبرده شده ، در آن زمان این اندیشه را القا کردند که الکتریسته و مغناطیس در پاره ای از جهات به هم ارتباط دارند . ولی این مشاهدات اتفاقی در آن زمان نتوانست زمینه مساعدی برای پی گیری عمیق و طرح ریزی دقیق آزمایشهایی باشد که راهنمای وضع تئوریه و قوانین ارتباط بین الکتریسته و مغناطیس گردند . علاوه بر این هیچ يك از آن مقالات ، فلاسفه طبیعت شناس آن زمان را بر نبانگینخت زیرا آنان معتقد بودند که همه پدیده های طبیعت فقط مظاهر يك نیروی واحد هستند .

اعتقاد آنان به این که نیروهای طبیعت مبدأ واحد دارند آنانرا وادار می کرد که نیروهای الکتریکی و مغناطیسی را نیز بر همین قیاس توجه کنند . نخستین مدرک واقعی دال بر ارتباط میان الکتریسته و مغناطیس ، آزمایشهای بسیار مهم و اساسی اُرستد دانشمند دانمارکی بود .

## اثر مغناطیسی جریان برق

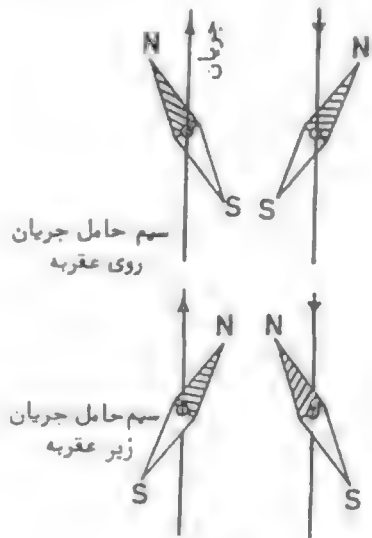
در سال ۱۸۱۹ میلادی ، هانس کریستیان اُورستد<sup>۱</sup> که استاد فیزیک در دانشگاه کپنهاگ بود ، این واقعیت را کشف کرد که اگر يك عتربه مغناطیسی در مجاورت يك سیم حامل جریان برق قرار گیرد از راستای خود منحرف می شود . اُورستد ضمن تحقیقات خود دریافت که سوی انحراف عتربه بستگی به جهت جریان و طرز قرار

۱- Hans Christian Oersted (۱۷۷۷-۱۸۵۱)

گرفتن سیم نسبت به عقربه دارد و شکل ۷-۱، انحراف عقربه مغناطیسی را در چهار وضعیت نسبی سیم و عقربه نشان می‌دهد.

پس از این کشف، آمپر، ریاضی‌دان و فیزیک‌دان فرانسوی دستوری وضع کرد که به کمک آن سوی انحراف عقربه را در مجاورت سیم حامل جریان می‌توان پیشگویی کرد:

**دستور آمپر** - اگر ناظری در راستای سیم و در جهت جریان طوری قرار گیرد که روی او به طرف عقربه باشد قطب N عقربه به سمت دست چپ او منحرف می‌شود.



شکل ۷-۱- آزمایش اورست

طیف مغناطیسی حاصل از جریانی که از يك سیم راست می‌گذرد انحراف عقربه مغناطیسی در مجاورت سیمی

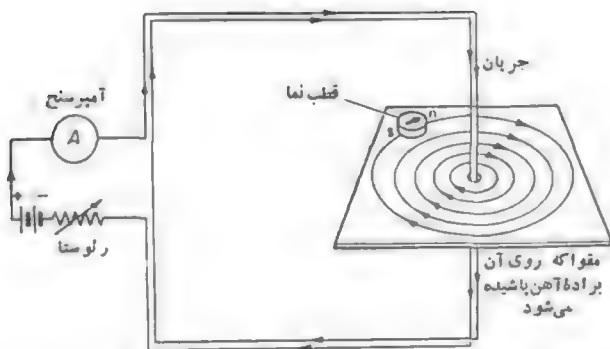
که جریان برق از آن می‌گذرد، نشان می‌دهد که در اطراف سیم میدان مغناطیسی وجود دارد، چون در هر میدان مغناطیسی شاد مغناطیسی<sup>۱</sup> جریان دارد انتظار می‌رود که در اطراف سیم حامل جریان برق هم خطوط میدان مغناطیسی که معرف شار مغناطیسی است وجود داشته باشد. آزمایش زیر این مطلب را تأیید می‌کند:

شکل ۷-۲، قاب مستطیل شکل بزرگی را نشان می‌دهد که حداقل دارای بیست‌دور سیم مسی روپوشدار است و در سطح قائم نگاه شده است. يك طرف قاب، که در حکم سیم راست است، از میان يك صفحه متوالی افقی گذشته است و توسط يك باتری شش ولتی جریانی در حدود سه آمپر از این قاب می‌گذرد. اگر هنگامی که از قاب جریان برق می‌گذرد، روی صفحه مقوا، براده نرم آهن پاشیده شود و به صفحه مقوا ضربه‌های ملایمی وارد آید براده‌های آهن در اطراف سیم روی دایره‌های هم‌مرکزی که مرکز همه آنها در وسط سیم است قرار می‌گیرند و طیف مغناطیسی جریان برق را تشکیل می‌دهند.

علت این که به جای يك رشته سیم از يك قاب ۲۰ دور استفاده می‌شود این است که اگر قاب فقط دارای يك دور سیم باشد باید از آن جریانی به شدت ۲۰ آمپر بگذرد تا اثر مغناطیسی آن معادل حالتی باشد که از قاب ۲۰ دور، جریان سه آمپر می‌گذرد. تهیه جریان ۲۰ آمپری مستلزم داشتن يك باتری بزرگ با نیروی محرکه زیاد است و علاوه بر این سیم باید خیلی کلفت باشد تا جریان ۲۰ آمپر را

۱- به «میدان مغناطیسی» در بخش ۶ مراجعه شود.





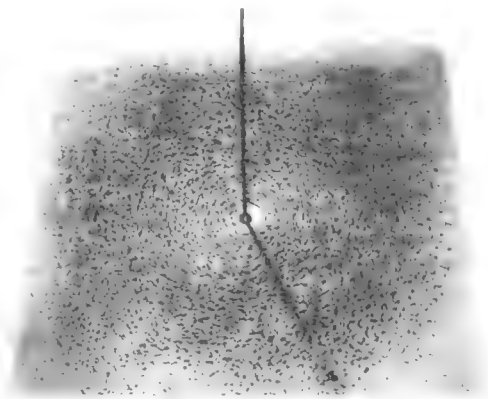
شکل ۳-۷- خطوط میدان مغناطیسی حاصل از عبور جریان از يك سیم راست.

تحمل کند و نسوزد.

پرسش ۱-۷- چرا باید جریان شدید از قاب بگذرد؟

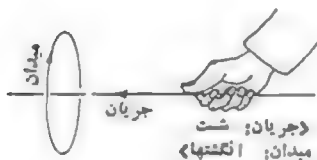
توان با يك عقربه مغناطیسی كوچك كه روی صفحه مقاوا گذارده می شود نشان داد: قطب  $\pi$  عقربه سوی خطوط میدان (یعنی جهت عبور شار مغناطیسی) را نشان می دهد. اگر جهت جریان در قاب عوض شود، عقربه می چرخد و در خلاف جهت وضع پیشین خود قرار می گیرد ولی شکل طیف عوض نمی شود با دستورهای ساده زیر نیز می توان سوی خطوط میدان را مشخص کرد:

۱- اگر ناظری در راستای سیم و در جهت جریان قرارگیرد به طوری كه سیم میان دو بازوی او واقع شود سوی خطوط میدان از دست راست به طرف دست چپ او خواهد بود.



شکل ۳-۷- طیف حاصل از عبور جریان برق كه توسط براده آهن بر روی يك صفحه مقوا تشكيل شده است.

شکل ۳-۷- يك نمونه از طیف واقعی را كه با براده آهن بر روی يك صفحه مقوای افقی تشكيل شده است نشان می دهد.



شکل ۳-۷- دستور دست راست.

دست در جهت جریان

چهار انگشت در سوی خطوط میدان

## سوی خطوط میدان

در آزمایش بالا سوی خطوط میدان را می-

۲- دستور دست راست- اگر با به فرض سیمی که از آن جریان برق می‌گذرد در دست راست قرار گیرد به طوری که انگشت شست، در طول سیم، در جهت جریان واقع شود چهار انگشت دیگر، سوی خطوط میدان را نشان می‌دهد (شکل ۷-۴).

**شدت میدان مغناطیسی در نقاط اطراف سیم راست-** شدت میدان مغناطیسی در هر نقطه از میدان، در واقع معرف تراکم خطوط نیروی میدان یا به عبارت دیگر معرف چگالی شار مغناطیسی<sup>۱</sup> در آن نقطه است و به B نمایش داده می‌شود. B را «اندوکیسون مغناطیسی» یا «القای مغناطیسی» هم می‌نامند.

اندازه اندوکیسون مغناطیسی (یا شدت میدان مغناطیسی) در هر نقطه اطراف سیم راستی که از آن جریان الکتریسته می‌گذرد به دو عامل بستگی دارد: یکی اندازه شدت جریان (I) و دیگری فاصله نقطه از سیم (d). آزمایش نشان داده است که شدت میدان مغناطیسی با شدت جریان نسبت مستقیم و با فاصله نقطه ورد نظر از سیم نسبت معکوس دارد، یعنی:

شدت جریان  
فاصله نقطه از سیم  $\propto$  شدت میدان مغناطیسی در هر نقطه اطراف سیم راست

$$B = k \frac{I}{d} \quad (۷-۱) \quad \text{با:}$$

k ضریبی است که بستگی به واحدهای I و

d و B دارد. در دستگاه واحدهای بین‌المللی که I بر حسب آمپر و d بر حسب متر است، B بر حسب تسلا<sup>۲</sup> (با علامت اختصاری T) بیان می‌شود. در این صورت  $k = 2 \times 10^{-7}$  است. بنابراین:

$$B(T) = 2 \times 10^{-7} \frac{I(A)}{d(m)} \quad (۷-۲)$$

**پرسش ۷-۲-** شدت میدان مغناطیسی در ناصبه یک متری سیم راستی که از آن جریان ۵ آمپر می‌گذرد چه اندازه است؟

**میدان مغناطیسی حاصل از یک مدار دایره‌ای-** شکل ۷-۵، خطوط میدان مغناطیسی حاصل از عبور جریان از یک مدار دایره‌ای شکل را که به صورت حلقه پیچیده شده است نشان می‌دهد. برای بررسی میدان حاصل از این جریان، می‌توان سیم پیچ حلقه‌ای شکلی را به کار برد که مثلاً از ۲۰ دور (یا بیشتر) سیم روپوشدار تشکیل یافته و روی صفحه‌مقوایی نصب گردیده است. (شکل ۷-۶). طیف مغناطیسی جریان را در این حالت هم می‌توان، مانند حالت پیش، به وسیله براده آهن تشکیل داد.

سیم پیچ حلقه‌ای شکل را، به هنگام عبور جریان، می‌توان در حکم آهن‌ربای نازکی دانست که یک وجه آن قطب N و وجه دیگرش قطب S است و قطبهای N و S آن، طبق دستوری که در بخش ۶ بیان شده است معین می‌گردد. در این جا نکته قابل توجه این است که خطوط میدان در مرکز حلقه به

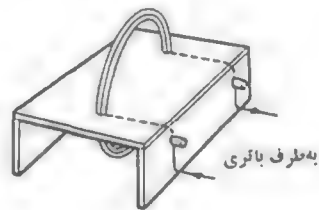
۱- چگالی شار مغناطیسی بنا به تعریف عبارت است از شار مغناطیسی که از واحد سطح (یک متر مربع)

عمود بر راستای خطوط نیروی میدان می‌گذرد.

شکل خط راست بوده و بر سطح حلقه عمودند.

شدت میدان مغناطیسی در مرکز مدار دایره‌ای -  
شدت میدان مغناطیسی در مرکز يك مدار دایره‌ای  
به شعاع  $r$  که از آن جریانی به شدت  $I$  می‌گذرد  
با شدت جریان نسبت مستقیم و با شعاع مدار نسبت  
معمکوس دارد. بنابراین با  $\frac{1}{r}$  متناسب است. یعنی:

$$B \propto \frac{I}{r}$$



شکل ۶-۷

$$B = k \frac{I}{r} \quad \text{یا}$$

ضریب  $k$  بستگی به واحدهای  $I$  و  $r$  و  $B$   
دارد و در دستگاه واحدهای بین‌المللی برابر  
 $2\pi \times 10^{-7}$  است. بنابراین:

$$B(T) = 2\pi \times 10^{-7} \frac{I(A)}{r(m)} \quad (3-7)$$

اگر مدار شامل  $N$  حلقه باشد شدت جریان  $N$   
برابر و در نتیجه اندازه اندوکسیون مغناطیسی (یا  
شدت میدان مغناطیسی)  $N$  برابر می‌شود یعنی:

$$B = 2\pi \times 10^{-7} \frac{NI}{r} \quad (4-7)$$

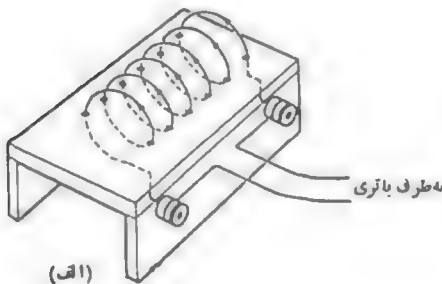
مثال - اندازه اندوکسیون مغناطیسی (یا شدت

میدان مغناطیسی) در مرکز يك حلقه به قطر  $22/0$   
سانتیمتر که از  $20$  دور سیم روپوش دار تشکیل یافته  
است و از آن جریانی به شدت  $2/5$  آمپر می‌گذرد  
برابر است با:

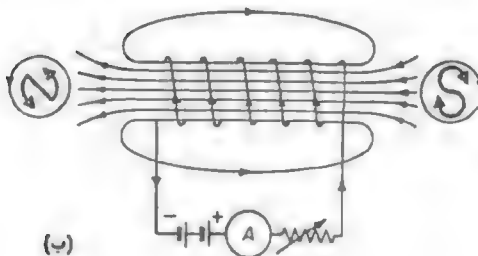
$$B = 2 \times 2/12 \times 10^{-7} \times \frac{20 \times 2/50}{0/120}$$

$$B \approx 5/23 \times 10^{-4} T \quad \text{یا}$$

میدان مغناطیسی حاصل از يك سیم پیچ -  
در بخش ۶ دیدیم که يك سیم پیچ، هنگامی  
که از آن جریان الکتریسته می‌گذرد، مانند يك  
آهن‌ربا دارای دو قطب  $S$  و  $N$  می‌شود و میدان  
مغناطیسی آن شباهت زیادی به میدان يك آهن‌ربای  
تینغی‌دار (شکل ۷-۷-ب)، بررسی میدان حاصل



(الف)



(ب)

شکل ۷-۷-میدان مغناطیسی حاصل از جریان الکتریسته

در سیم پیچ.

از يك سیم پیچ الکتریکی را می توان به وسیله سیم- پیچی که مطابق شکل (۷-۷-۷) روی يك صفحه مغزای محکم تهیه شده است انجام داد

سیم پیچ با يك باتری و يك آمپرمنج و يك رئوستا و يك کلید به طور متوالی بسته می شود و شدت جریان به کمک رئوستا طوری تنظیم می گردد که طیف مغناطیسی واضعی به وسیله براده آهن (که بر روی صفحه مغزای پاشیده می شود) به دست آید.

پرسش ۷-۳ - قطبهای N و S سیم پیچ را چگونه مشخص می کنید؟

اگر طول سیم پیچ نسبت به قطر آن خیلی زیاد باشد شدت میدان مغناطیسی در وسط سیم پیچ از رابطه زیر حساب می شود:

$$B(r) = 2\pi \times 10^{-7} \frac{N}{l(m)} i(A) \quad (5-7)$$

که دو آن N تعداد حلقه های سیم پیچ l طول آن و i شدت جریان در سیم پیچ است. برای اینکه B بر حسب تلا حساب شود باید l بر حسب متر و i بر حسب آمپر باشد.

خارج قسمت  $\frac{N}{l}$ ، تعداد دورهای سیم پیچ در واحد طول سولنوئید است که اگر آن را به n نمایش دهیم رابطه (۷-۵) به صورت ساده زیر در می آید:

$$B = 12/56 \times 10^{-7} n i \quad (6-7)$$

مثال - شدت میدان مغناطیسی در مرکز يك سولنوئید به قطر ۱۰ سانتیمتر و به طول ۰۶۰ سانتیمتر وقتی که از آن جریانی به شدت ۵ آمپر می گذرد برابر  $4 \times 10^{-2}$  تسلا است. تعداد حلقه های آن را

حساب کنید.

$$B = 2\pi \times 10^{-7} \frac{N}{l} i \quad \text{داریم}$$

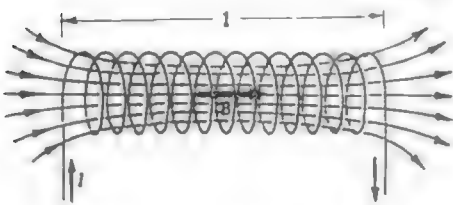
$$N = \frac{B \cdot l}{2\pi \times 10^{-7} i} \quad \text{با:}$$

به ازای  $B = 2 \times 10^{-2} T$  و  $l = 0/60 m$  و  $i = 5 A$  خواهیم داشت:

$$N = \frac{2 \times 10^{-2} \times 0/60}{2 \times 3/14 \times 10^{-7} \times 5} \approx 3819 \text{ دور}$$

توجه: قطر سیم پیچ (۱۰ cm) از مشخصات آن است و در محاسبه N نقشی ندارد.

**میدان مغناطیسی یکنواخت -** اگر شدت میدان مغناطیسی در نقاط مختلف يك میدان ثابت و خطوط نیرو موازی و هم سو باشند چنین میدانی را «میدان یکنواخت» گویند. یکی از روشهای ایجاد میدان مغناطیسی تقریباً یکنواخت، استفاده از يك سیم پیچ یا «سولنوئید» طویل است (شکل ۷-۸). وقتی که از يك سولنوئید دراز جریانی ثابتی می گذرد در حجم نسبتاً بزرگی در وسط آن، میدان یکنواخت به وجود می آید.



شکل ۷-۸ - میدان در حجم بزرگی از وسط يك سولنوئید دراز یکنواخت است

## آهن ربای الکتریکی

در بخش ۱ دیدیم که هر گاه يك قطعه آهن

۱- سیم پیچ الکتریکی را در اصطلاح فیزیک سولنوئید (Solenoid) می گویند.

در شکل ۷-۱۱ طرح ساده‌ای از يك آهن‌ربای الکتریکی نشان داده شده است که میدان میان دو قطب آن یکنواخت و شدید است. وجود هسته آهنی درون سیم‌پیچ سبب می‌شود که شدت میدان مغناطیسی درون آن چند هزار برابر شدت میدان در سیم‌پیچ بدون هسته باشد.

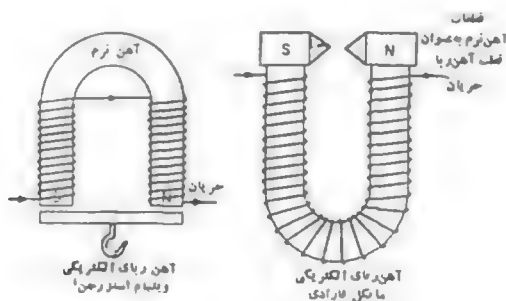
**اثر میدان مغناطیسی بر جریان الکتریسته**  
همان‌طور که جریان برق بريك آهن‌ربا نیرو وارد می‌سازد می‌توان پیشگویی کرد که آهن‌ربا هم بنا به قانون عمل و عکس‌العمل نیرویی مساوی ولی در جهت مخالف بر سیم وارد می‌کند بنابراین اگر آهن‌ربا ثابت وسیمی که از آن جریان برق می‌گذرد آزاد باشد سیم در اثر این نیرو به حرکت در می‌آید.

آزمایشی که در شکل ۷-۱۲ مجسم شده است این مطلب را تأیید می‌نماید و نشان می‌دهد که جهت نیروی وارد از طرف آهن‌ربا بر سیم حامل جریان برق، چگونه بستگی به جهت میدان مغناطیسی و

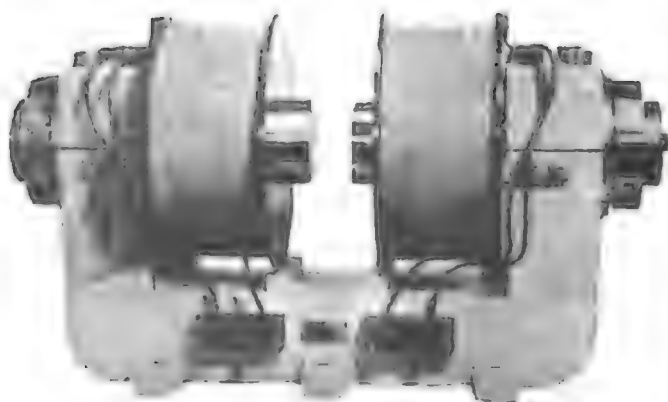
خالص درون سیم‌پیچی قرار داده شود، هنگام عبور جریان از سیم‌پیچ، قطعه آهن، آهن‌ربا می‌شود ولی پس از قطع جریان خاصیت آهن‌ربایی آن به سرعت از بین می‌رود. از این خاصیت برای ساختن آهن‌ربای الکتریکی استفاده می‌شود. آهن‌ربای الکتریکی چنان‌که گفته شده معمولاً در مواردی به کار می‌رود که احتیاج به آهن‌ربای موقتی و شدید باشد.

**پوش ۷-۴ -** با سابقه‌آشنایی که از کاربرد آهن‌ربای الکتریکی دارید چند اسباب راکه در آنها از آهن‌ربای الکتریکی استفاده می‌شود نام ببرید.  
شکل ۷-۹ - طرح نمونه‌های اولیه آهن‌ربای الکتریکی راکه در قرن نوزدهم میلادی ساخته شده‌اند و شکل ۷-۱۰ - يك آهن‌ربای الکتریکی جدید راکه به منظور بررسی اثر میدان مغناطیسی شدید بر روی ماده ساخته شده است نشان می‌دهد.

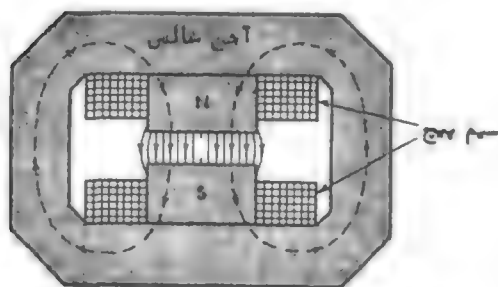
**پوش ۷-۵ -** شکل ۷-۹ نشان می‌دهد که سیم در دو بدنه آهن‌ربا در خلاف جهت هم پیچیده شده است، علت را توضیح دهید. اگر سیم‌ها در يك جهت پیچیده شوند چه می‌شود؟



شکل ۷-۱۲ طرح آهن‌ربای الکتریکی قرن نوزدهم

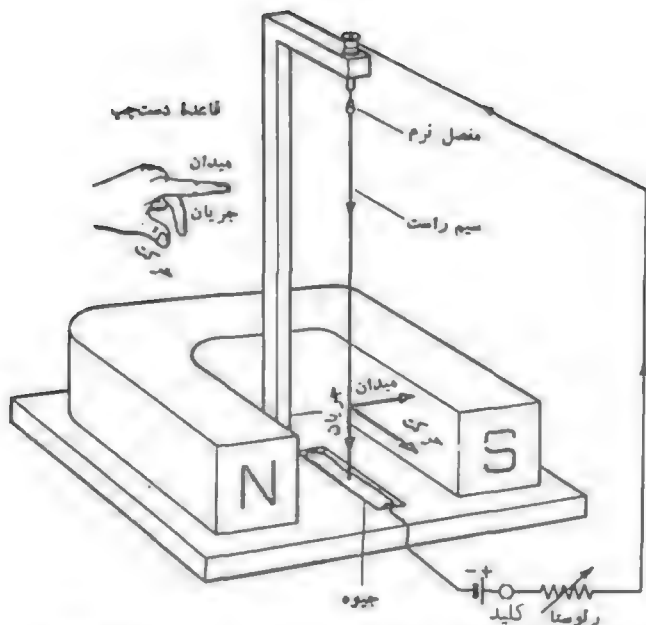


شکل ۷-۱۰. نمونه‌ای از بات آهن‌ربای الکتریکی جدید که در پژوهشهای علمی به کار می‌رود



۷-۱۱- آهن ربای الکتریکی برای تولید میدان یکسوحت‌موی

جهت جریان درسیم دارد. این شکل، سیم مسی راستی را نشان می‌دهد که میان دو قطب يك آهن‌ربای نعلی شکل به‌قلابی آویزان است و انتهای پایینی آن با جیوه‌که در شیار گودتخته‌ای ریخته‌شده‌است تماس دارد. جریانی که باید از سیم بگذرد به وسیله يك رنوستا روی کمترین مقداری که برای آزمایش لازم است تنظیم می‌شود زیرا شدت جریان زیاد، سیم را داغ می‌کند. هرگاه کلید  $\times$  بسته شود، اگر برق از بالا به پایین در سیم جریان یابد و سوی خطوط میدان مغناطیسی مطابق شکل از چپ به‌راست باشد سیم به جلو رانده می‌شود، در نتیجه، تماس سیم با جیوه قطع شده و جریان برق هم قطع می‌شود و سیم به جای خود بر می‌گردد و باز با جیوه تماس پیدا می‌کند و دوباره در آن جریان برقرار و عمل تکرار می‌شود. اگر جهت جریان درسیم معکوس و از پایین به بالا بشود نیرو نیز برخلاف جهت اولیه خود بر سیم وارد می‌شود و آن را به عقب می‌راند.



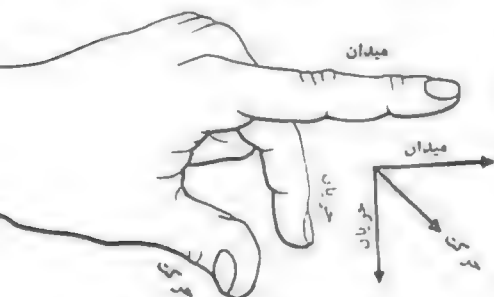
شکل ۱۳-۷. نیرویی که از طرف میدان مغناطیسی بر سیم حامل جریان وارد می‌شود.

پرسش ۶-۷ چگونه می‌توان جهت جریان

شده است مشخص می‌گردد.

را در سیم عوض کرد؟

دست‌ور دست چپ فلمینگ - انگشتان نشانه و میانی و شست دست چپ خود را طوری نگاه داریم



شکل ۱۳-۷. دستور دست چپ فلمینگ

در صورتی که با چرخاندن آهن‌ربا، جای قطب‌های آن عوض شود به طوری که جهت خطوط میدان معکوس گردد جهت نیروی وارد بر سیم نیز معکوس می‌شود. در این آزمایش با اندکی توجه مشاهده می‌شود که راستاهای جریان و میدان مغناطیسی و نیروی وارد بر سیم دو به دو برهم عمودند.

جهت حرکت سیم، یا به عبارت دیگر سوی نیروی وارد بر سیم بستگی به جهت جریان و جهت خطوط میدان دارد و به کمک دستور دست چپ، که توسط پروفیسور فلمینگ<sup>۱</sup> دانشمند انگلیسی وضع

۱-John Ambrose Fleming (۱۸۶۹ - ۱۹۴۵)

بر حسب متر بر ثانیه  $\left(\frac{m}{s}\right)$  و  $B$  بر حسب تسلا (T) است  $K=1$  است و خواهیم داشت:

$$F = e \cdot v \cdot B \quad (7-7)$$

$$(N) \quad (C) \quad \left(\frac{m}{s}\right) \quad (T)$$

مثلا اگر يك الكترون با بارالکتریکی

$$e = 1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$$

$$v = 3/0 \times 10^7 \frac{m}{s}$$

در يك میدان مغناطیسی به شدت  $4T$   $10^{-4} \times 2/0 \times B$  عمود بر راستای خطوط نیروی میدان حرکت کند نیرویی که از طرف میدان بر آن وارد می شود برابر است با:

$$F = e v B = (1.6 \times 10^{-19} C) \times (3/0 \times 10^7 \frac{m}{s}) \times (2/0 \times 10^{-4} T)$$

$$= 9.6 \times 10^{-16} N$$

توجه داشته باشید که میدان  $4 \times 10^{-4} \times 2/0 \times B$  تسلا در حدود  $10$  برابر میدان مغناطیسی زمین است و نیرویی که در این میدان بر الکترون وارد می شود بسیار کوچک است ولی چون جرم الکترون نیز بسیار کم است همین نیروی بسیار کوچک سبب انحراف الکترون می شود.

در میدان مغناطیسی، نه تنها بر الکترون متحرک نیرو وارد می شود بلکه بر هر نوع ذره باردار، چه دارای بار منفی و چه دارای بار مثبت، به هنگام حرکت در میدان مغناطیسی نیرو وارد می شود. بنابراین نیروی وارد بر ذره باردار، با بار الکتریکی  $q$ ، وقتی که با سرعت  $v$  در يك میدان مغناطیسی  $B$ ، در راستای عمود بر خطوط نیروی میدان حرکت می کند برابر است با:

$$F = q \cdot v \cdot B$$

که دو به دو برهم عمود باشند. اگر انگشت نشانه را در جهت میدان و انگشت میانی را در جهت جریان بگیریم انگشت شست جهت حرکت (یعنی سوی نیرو) را نشان می دهد (شکل 7-13).

**اندازه نیرویی که در میدان مغناطیسی بر الکترون متحرک وارد می شود**

گفتم، هرگاه از يك سیم مسی که در يك میدان مغناطیسی آویزان است جریان الکتریسته بگذرد، سیم در اثر نیرویی که این میدان بر آن وارد می کند به حرکت در می آید. از طرف دیگر می دانیم که جریان الکتریسته در واقع عبور الکترون هاست. بنابراین می توانیم بگویم نیرویی که در میدان مغناطیسی بر سیم حامل جریان الکتریسته وارد می شود بر آیند نیروهایی است که میدان بر الکترون های متحرک وارد می کند. وقتی که يك دسته الکترون از يك میدان مغناطیسی می گذرد این میدان بر هر يك از الکترون های متحرک نیرویی وارد می سازد که سبب انحراف الکترون از مسیر اولیه خود می شود. در نظر بگیرید، يك الکترون که بار آن را به  $e$  نمایش می دهیم با سرعت  $v$  در يك میدان مغناطیسی به شدت  $B$ ، عمود بر راستای خطوط نیروی میدان، حرکت کند. نیرویی که سبب انحراف الکترون می شود متناسب با کمتهای  $e$  و  $v$  و  $B$  و بنابراین متناسب با حاصل ضرب آنهاست. یعنی:

$$F \propto e \cdot v \cdot B$$

$$F = K e v B \quad \text{یا}$$

$K$  ضریبی است که بستگی به واحدهای این کمتهای دارد. در دستگاه بین المللی واحدها، که  $F$  بر حسب نیوتن (N) و  $e$  بر حسب کولن (C) و  $v$



در صورتی که راستای حرکت ذره باردار عمود بر راستای خطوط نیروی میدان نباشد و این دو راستا با هم زاویه  $\alpha$  بسازند اندازه نیرو از رابطه زیر حساب می‌شود:

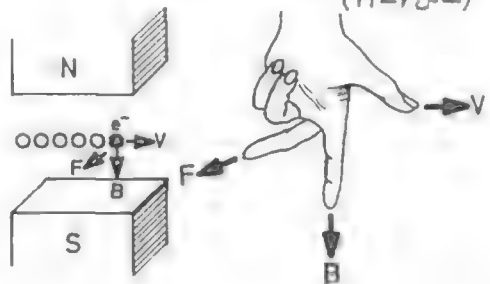
$$F = q \cdot v \cdot B \sin \alpha \quad (۸-۷)$$

**پوش ۷-۷-** اگر راستای حرکت ذره باردار موازی با راستای خطوط نیروی میدان باشد اندازه این نیرو چه خواهد بود؟

### تعیین جهت نیروی $F$

راستای نیروی  $F$  همواره بر راستاهای میدان  $B$  و حرکت ذره (راستای  $v$ ) عمود است. جهت نیروی  $F$  را که در میدان مغناطیسی باریک الکترون متحرک وارد می‌شود می‌توانیم از دستور سه انگشت دست چپ مشخص کنیم. برای این منظور کافی است انگشت شست دست چپ را در راستای حرکت الکترون و انگشت نشانه را در راستای میدان مغناطیسی  $B$  بگیریم. انگشت میانی که عمود بر راستای دو انگشت دیگر گرفته می‌شود جهت نیروی  $F$  را، یا به عبارت دیگر، جهت انحراف الکترون را نشان می‌دهد

(شکل ۷-۱۴)



شکل ۷-۱۴- جهت نیرویی که در یک میدان مغناطیسی بر الکترون (که بار منفی دارد) وارد می‌شود با دستور سه انگشت دست چپ مشخص می‌گردد.

در صورتی که ذره متحرک دارای بار مثبت باشد و در همان جهت حرکت الکترون در میدان  $B$  حرکت کند در خلاف جهت انحراف الکترون منحرف می‌شود زیرا جهت نیروی  $F$  معکوس می‌شود.

در این حالت برای تعیین جهت این نیرو، می‌توانیم از دستور سه انگشت دست راست استفاده کنیم بدین ترتیب که انگشت شست دست راست را در جهت حرکت ذره باردار مثبت و انگشت نشانه را در جهت میدان بگیریم. انگشت میانی که عمود بر راستای دو انگشت دیگر گرفته می‌شود جهت نیروی  $F$  یعنی جهت انحراف ذره را نشان می‌دهد.

**پوش ۷-۸-** اگر بخواهیم اندازه انگشت دست چپ برای تعیین جهت نیروی وارد بر ذره باردار مثبت استفاده کنید کدام انگشتان این دست را در جهت حرکت ذره و میدان می‌گیرید؟

بر اساس نیروی وارد بر بار الکتریکی در میدان مغناطیسی، می‌توان نیرویی را که از طرف میدان مغناطیسی بر یک سیم مسی حامل جریان وارد و بسبب حرکت آن می‌شود حساب کرد. در نظر بگیرید سیم مسی به طول  $l$  در میدان مغناطیسی یکنواخت  $B$ ، عمود بر راستای خطوط نیرو و آویزان است و از آن جریانی به شدت  $I$  می‌گذرد. چون جریان الکتریسته در واقع عبور الکترونهاست اگر هر الکترون طول  $l$  را در مدت  $t$  ثانیه طی کند سرعت حرکت الکترون در سیم برابر است با  $v = \frac{l}{t}$  و اگر در مدت  $t$  ثانیه  $n$  الکترون که بار الکتریکی هر یک  $e$  است از سیم بگذرد مقدار الکتریسته‌ای که در مدت  $t$  ثانیه از سیم می‌گذرد  $q = ne$  خواهد بود با توجه به رابطه (۶-۱) نیروی وارد به دسته الکترونها جاری در سیم برابر است با

آمپر متر ، ولت متر) را می توان هم بر اساس نیروی وارد از طرف جریان بر آهن ربا و هم بر اساس نیروی وارد از طرف آهن ربا بر جریان ساخت.

اسباهای نوع اول که دارای عقربه مغناطیسی متحرك (واقع در يك سیم پیچ ثابت) هستند در طول قرن نوزدهم میلادی مورد استفاده بوده اند و تغییرات زیادی در ساختمان شان به منظور حساستر کردن آنها صورت گرفته است.

ولی این نوع وسایل دارای معایبی هستند که دقت آنها را محدود می کند. زیرا علاوه بر آن که ممکن است تحت تأثیر میدانهای مغناطیسی حاصل از سیمها یا کابل های حامل جریان برق و یا میدانهای مغناطیسی حاصل از ابزار الکتریکی دیگر قرار گیرند، همواره عقربه متحرك آنها تحت تأثیر میدان مغناطیسی زمین در راستای مشخصی می ایستد و این کیفیت در پاره ای از موارد کار اندازه گیری را دشوار می سازد. به سبب همین معایب، این نوع وسایل اندازه گیری به تدریج کنار گذاشته شده و وسایل اندازه گیری نوع دوم که در آنها آهن ربا ثابت و سیم پیچ حامل جریان متحرك است وارد عمل شده است.

### گالوانومتر با قاب متحرك

شکل ۱۵-۷ طرح ساده ای از يك گالوانومتر با قاب متحرك را نشان می دهد. قاب، سیم پیچ مستطیل شکلی است که روی استوانه ای از آهن خالص پیچیده شده و در میان دو قطب يك آهن ربا در فضایی به شکل استوانه آویزان است دو سر پیچ در بالا و پایین استوانه آهنی به دو میله کوتاه و باریک و محکم متصل است و روی میله بالایی آینه کوچکی نصب شده

$$F = ne.v.B$$

$$F = q \cdot \frac{1}{t} \cdot B \quad \text{یا:}$$

q، چنان که گفتیم، مقدار الکتریسیته ای است که در زمان t از سیم می گذرد و چون  $q = It$  است،

$$F = It \cdot \frac{1}{t} \cdot B \quad \text{بنابراین:}$$

$$F = I \cdot B \quad \text{یا (۹-۷)}$$

F در واقع برآیند نیروهایی است که بر هر يك از الکترون ها وارد می شود و همین نیروست که سیم را به حرکت در می آورد. جهت این نیرو با دستور سه انگشت دست چپ مشخص می شود. به خاطر داشته باشید که جهت حرکت الکترون ها خلاف جهت قراردادی جریان الکتریسیته است. برای این که F برحسب نیوتن حساب شود باید I برحسب آمپر و B برحسب تسلا باشد.

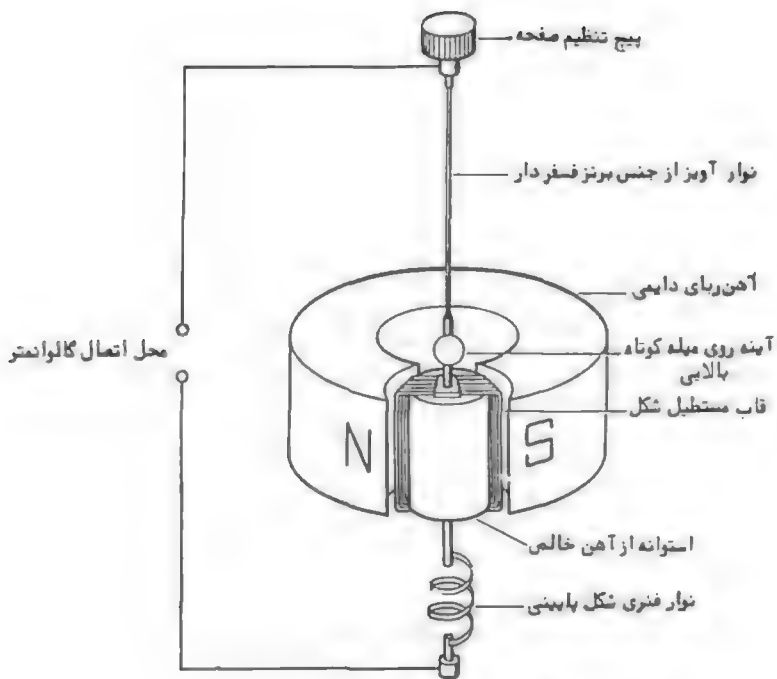
مثلا اندازه نیروی وارد بر سیمی به طول ۰/۵۰ متر که از آن جریانی به شدت ۲۰ آمپر می گذرد و در میدان مغناطیسی یکنواختی به شدت ۰/۳۰ تسلا، عمود بر خطوط نیرو، آویزان است برابر است با:

$$F = (20A) \times (0.50m) \times (0.30T) = 3.0N$$

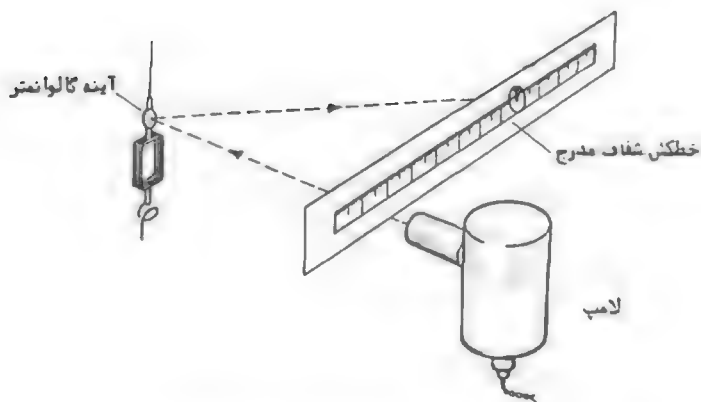
پرش ۹-۷- اگر سیم بر راستای خطوط نیروی میدان عمود نباشد نیروی F از چه رابطه ای حساب می شود و اگر سیم موازی با راستای خطوط نیرو باشد نیروی وارد بر آن چه اندازه است؟

### وسایل اندازه گیری جریان

اسباهای اندازه گیری جریان برق (گالوانومتر،



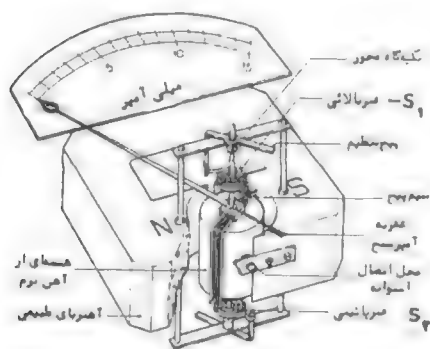
شکل ۷-۱۵- گالوانومتر با قاب متحرک ( طرح کلی ساده )



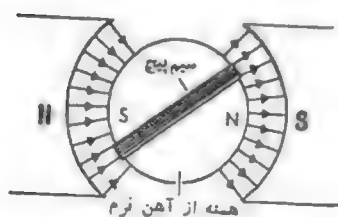
شکل ۷-۱۶- وسیله ایستکی برای خواندن انحراف گالوانومتر

- ۱- تعداد دورهای سیم پیچ را زیاد کرد.
- ۲- نوار آویز را بسیار باریک و نرم و کم تاب انتخاب نمود.
- ۳- آهن رهای گالوانومتر را از موادی ساخت که شدت آهن ربایی آنها به قدر کفایت قوی باشد و همواره ثابت بماند.

**آمپرسنج و ولتسنج با قاب متحرک**  
می دانید آمپرسنجه و ولت سنجه برای اندازه-



طرح یک آمپرسنج با قاب متحرک  
الف - طرح ساده ای از آمپرسنج با قاب متحرک.



ب- میدان شعاعی میان دو قطب آهن رها.

شکل ۱۷-۲

گیری شدت جریان و اختلاف پتانسیل به کار می روند. اساس ساختمان این دو اسباب یکی است و تنها

است و این آینه دسته پرتوهای باریک نوری را که از یک لامپ واقع در جلو آینه بر آن تابیده می شود روی یک خط کش شفاف افقی که بر حسب میلی متر مدرج و آن هم جلو آینه است منعکس می سازد. (شکل ۷-۱۶). با این مکانیسم علامت نورانی روی خط کش (حاصل از باز تابش نور لامپ از روی آینه) به ازای انحراف کوچک سیم پیچ تغییر مکان بزرگی را نشان می دهد، زیرا چنانکه می دانید اگر آینه به اندازه زاویه  $\alpha$  بچرخد پرتو بازتابیده از روی آن به اندازه  $2\alpha$  می چرخد.

قاب به وسیله نوار تازکی از جنس برنز فشرده در آویخته شده است و این نوار برای دو منظور به کار می رود: یکی این که جریان الکتریسته را هدایت می کند، دیگر آنکه با ایجاد یک نیروی مقاوم، چرخش قاب را متناسب با شدت جریان می سازد. خروج جریان از سیم پیچ، توسط نوار پائینی که آنهم از برنز فشرده یا نقره است صورت می گیرد.

نوار آویز بالایی از طرف بالا وصل به یک پیچ است که با پیچاندن آن قاب و در نتیجه آینه می چرخد و به این وسیله می توان علامت نوری روی خط کش را بر صفر آن (معمولا وسط خط کش) منطبق کرد.

### حساسیت گالوانومتر

حساسیت این نوع گالوانومتر بنا به تعریف عبارتست از میزان انحراف علامت نوری بر حسب میلی متر روی خط کش واقع در فاصله یک متری آینه وقتی که از گالوانومتر جریانی به شدت یک میکروآمپر (۱۰-۶ آمپر) بگذرد.

برای به دست آوردن حساسیت زیاد باید:

تفاوت آنها در این است که مقاومت سیم پیچ آمپر - سنج خیلی کم و مقاومت سیم پیچ ولت سنج خیلی زیاد است. صفحه آمپر سنج بر حسب آمپر و صفحه ولت سنج بر حسب ولت مدرج است.

شکل ۷-۱۷- الف طرح ساده ای از آمپر سنج با قاب متحرک را نشان می دهد که سیم پیچ آن به صورت قابی مستطیل شکل در فضای استوانه ای شکل میان دو قطب یک آهن ربا حول محور قائم خود آزادانه می تواند بچرخد. در فضای بین دو قطب آهن ربا و در وسط قاب، استوانه ای از جنس آهن خالص قرار دارد به طوری که قاب می تواند به آزادی در فضای بین استوانه و قطب های آهن ربا، بدون آن که با آنها تماس داشته باشد بچرخد. استوانه آهنی به این منظور قرار داده شده است که در فضای میان دو قطب آهن ربا «میدان مغناطیسی شعاعی» ایجاد شود (شکل ۷-۱۷- ب) و در نتیجه راستای خطوط این میدان در هر نقطه بر بدنه استوانه آهنی عمود باشد.

این وضعیت، اثر چرخش قاب را زیاد می کند زیرا، ایجاد قطب های مخالف در استوانه آهنی (به علت خاصیت القای مغناطیسی) سبب افزایش شدت میدان می شود. علاوه بر این قاب در هر وضعی که

تقرار گیرد، موازی با خطوط میدان است (شکل ۷-۱۷- ب).

دو فنر  $S_1$  و  $S_2$  در بالا و پایین قاب به محور آن متصل شده اند که در مقابل چرخش قاب نیروی مقاومی ایجاد می کنند. علاوه بر این جریان به وسیله یکی از این فنرها به سیم پیچ وارد و به وسیله فنر دیگر از آن خارج می شود.

وقتی که جریان از سیم پیچ قاب می گذرد، قاب می چرخد و فنرها در مقابل چرخش آن مقاومت می کنند. یدیهی است زاویه چرخش قاب متناسب با شدت جریانی است که از سیم پیچ می گذرد. عقربه ای به قاب متصل است که روی صفحه مدرجی حرکت می کند و صفحه به درجات مساوی درجه بندی شده است. هر چه شدت جریان بیشتر باشد انحراف عقربه بیشتر است.

چون مقاومت الکتریکی سیم پیچ ثابت است شدت جریانی که از آن می گذرد متناسب با اختلاف پتانسیل دو سر آن است (قانون اهم). در نتیجه، انحراف قاب متناسب با اختلاف پتانسیل دو سر آن نیز خواهد بود. بنابراین برای ساختن ولت سنج کافی است سیم پیچ قاب را با سیم نازکی که مقاومت آن زیاد است چندین دور بپیچند.

## به این پرسشها پاسخ دهید

- ۱) آزمایشی را شرح دهید که اثر مغناطیسی جریان برو را به هنگام عبور از یک سیم راست آشکار سازد. شکلی رسم کنید که وضع خطوط میدان حاصل از جریان این را نشان دهد.
- ۲) با رسم شکل، وضع خطوط میدان مغناطیسی حاصل از عبور جریان را در حالت های

زیر نشان دهید جهت جریان و سوی خطوط میدان را روی شکل مشخص کنید.

الف - وقتی که جریان از يك سیم پیچ دایره‌ای شکل مسطح می‌گذرد.

ب - وقتی که جریان از يك مولنویید می‌گذرد.

۳) تعریف شدت میدان مغناطیسی (یا اندوکسیون مغناطیسی) چیست؟

۴) چگونه می‌توان میدان مغناطیسی یکنواخت ایجاد کرد؟ برای تولید میدان مغناطیسی

یکنواخت و قوی چه باید کرد؟

۵) شکل واضح و ساده‌ای از يك آهن‌ربای الکتریکی رسم کنید و دومورد از موارد کاربرد

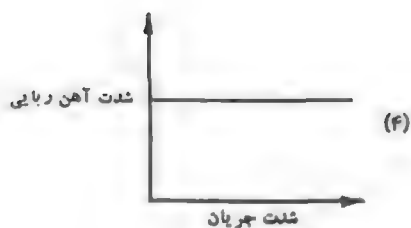
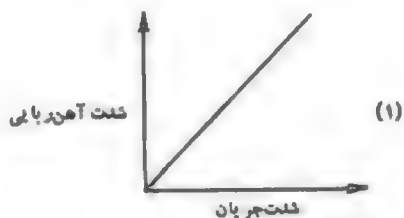
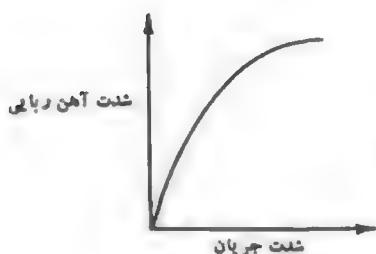
آن را نام ببرید. بارسم يك مدار الکتریکی توضیح دهید که چگونه می‌توانید با تغییر دادن

شدت جریان رابطه بین شدت جریان و شدت آهن‌ربایی چنین آهن‌ربایی را تحقیق کنید؟

۶) اگر شدت جریانی که از يك آهن‌ربای الکتریکی می‌گذرد از صفر شروع شود و به

تدریج افزایش یابد کدام يك از نمودارهای زیر معرف افزایش شدت آهن‌ربایی آن خواهد

بود؟ درباره جواب خود توضیح دهید.



۷) توضیح دهید چگونه از جریان برق، هم برای مغناطیس کردن و هم برای از بین

بردن خاصیت مغناطیسی استفاده می‌شود.

۸) قانونی را بیان کنید که به کمک آن بتوان از روی جهت جریان، جهت میدان مغناطیسی حاصل از جریان را مشخص کرد.

۹) دستوری را بیان کنید که به کمک آن بتوان سوی نیروی وارد بر يك سیم را که در يك میدان مغناطیسی عمود بر خطوط میدان قرار گرفته و از آن جریان برق می گذرد، مشخص کرد.

۱۰) آیا بر بار الکتریکی  $q$  که در يك میدان مغناطیسی ساکن است نیرو وارد می شود؟ در صورتی که جواب منفی است چه شرطی باید باشد تا بر آن نیرو وارد شود؟

۱۱) جهت نیروی  $F$  وارد بر يك الكترون را که در يك میدان مغناطیسی عمود بر خطوط نیروی میدان حرکت می کند با دستور سه انگشت دست چپ چگونه معین می کنند؟

۱۲) اگر راستای حرکت يك ذره باردار عمود بر راستای خطوط نیروی میدان مغناطیسی نباشد و این دو راستا با هم زاویه  $\alpha$  بسازند اندازه نیروی وارد بر ذره باردار از چه رابطه ای حساب می شود؟

۱۳) در نظر بگیرید که دو رشته سیم دراز و باریک به طور موازی به فاصله  $r$  از يك دیگر قرار دارند و از یکی جریان  $i_1$  و از دیگری جریان  $i_2$  در يك جهت می گذرد. با استفاده از دو

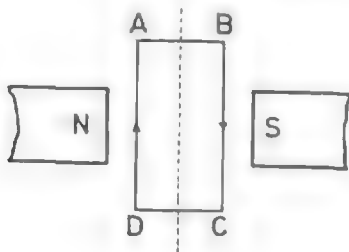
رابطه  $B = \frac{\mu_0}{2\pi} \frac{i_1}{r}$  و  $F = B i_2 l$  نشان دهید نیرویی که هر يك از این سیمهای حامل

جریان بر روی يك متر از طول سیم دیگر وارد می سازد برابر است با :

$$\frac{F}{L} = \frac{\mu_0}{2\pi} \frac{i_1 i_2}{r} \quad (10-7)$$

و از روی این رابطه تعریف آمپر واحد شدت جریان را که در بخش ۳ دیدید بگیرید.

۱۴) شکل ۷-۱۸ سیم بچی را نشان می دهد که به صورت قاب مستطیل شکل ABCD پیچیده شده است و میان دو قطب آهن ربای NS قرار دارد و حول محوری که به صورت خط چین نمایش داده شده است می تواند بچرخد هرگاه از این سیم بیم در جهتی که در شکل نمایش داده شده است جریان برق بگذرد قاب در چه جهتی خواهد چرخید؟



شکل ۷-۱۸

## ۱۵) اساس ساختمان يك آمپر سنج با قاب متحرك را شرح دهید.

### این مسئله ها را حل کنید

- ۱) شدت میدان مغناطیسی در نقطه ای به فاصله  $۰/۵۰$  متر از سیم راستی که از آن جریان  $۴$  آمپر می گذرد چه اندازه است ؟
- ۲) شدت جریان در يك سیم راست چند آمپر باید باشد تا شدت میدان مغناطیسی حاصل از آن در نقطه ای به فاصله  $۱۰$  سانتیمتر از سیم برابر  $۶-۱۰ \times ۵$  تسلا بشود ؟
- ۳) درجه فاصله ای از يك سیم راست که از آن جریانی به شدت  $۱۰$  آمپر می گذرد شدت میدان مغناطیسی حاصل از این جریان برابر شدت میدان مغناطیسی زمین (یعنی تقریباً  $۵-۱۰ \times ۵$  تسلا) خواهد بود ؟
- ۴) شدت میدان مغناطیسی را در مرکز يك مدار دایره ای به شعاع  $۱۶$  سانتیمتر که از آن جریانی به شدت  $۲/۰$  آمپر می گذرد حساب کنید . اگر شعاع مدار دو برابر شود ولی شدت جریان ثابت بماند شدت میدان در مرکز مدار به چه نسبت تغییر خواهد کرد ؟
- ۵) چه جریانی باید از يك مدار دایره ای به شعاع  $۱$  متر بگذرد تا در مرکز آن میدانی به شدت  $۷-۱۰ \times ۴$  تسلا ایجاد شود ؟
- ۶) دورسته سیم راست و موازی به فاصله يك متر از یکدیگر قرار داده شده اند و از هریک از آنها جریانی به شدت  $۲$  آمپر در يك جهت می گذرد . برآیند میدانهای مغناطیسی حاصل از این دو جریان را در نقاط زیر حساب کنید :  
الف - در فاصله وسط دو سیم ؛  
ب - در  $\frac{1}{4}$  فاصله بین دو سیم .
- ۷) اگر در مسئله ۶ جهت جریان در دو سیم خلاف جهت یکدیگر باشد برآیند میدانها در دو نقطه نامبرده چه اندازه است ؟
- ۸) يك رشته سیم مسی روپوش دار به طول  $۲۸$  متر را به صورت يك سیم پیچ مسطح در می آوریم به طوری که قطر آن  $۸$  سانتیمتر باشد . اگر جریانی به شدت  $۴/۵$  آمپر از آن بگذرانیم شدت میدان در مرکز این سیم پیچ چند تسلا خواهد بود ؟
- جواب: تقریباً  $۲۸-۱۰ \times ۷/۹$
- ۹) از يك سولنوئید که  $۴۵۰$  حلقه دارد جریانی به شدت  $۳/۷$  آمپر عبور می دهیم . اگر طول سولنوئید  $۴۵$  سانتیمتر باشد شدت میدان را در وسط سولنوئید حساب کنید .



۱۰) از يك سولنوئيد به طول ۲۵ سانتيمتر هرگاه جریانی به شدت ۸ آمپر بگذرد و در وسط آن میدانی به شدت  $2 \times 10^{-2}$  تسلا تولید می‌شود. این سولنوئيد دارای چند حلقه است؟  
جواب: ۱۴۹۲ حلقه

۱۱) يك دسته الكترون با سرعت  $2 \times 10^8$  متر بر ثانیه در میدان مغناطیسی یکنواختی عمود بر خطوط نیروی میدان حرکت می‌کند. اگر شدت میدان مغناطیسی  $2 \times 10^{-4}$  تسلا باشد چه نیرویی از طرف این میدان بر هر الكترون وارد می‌شود؟

۱۲) از سیمی به طول ۱/۰ متر جریانی به شدت ۱۲ آمپر می‌گذرد. این سیم در يك میدان مغناطیسی یکنواخت به شدت  $2 \times 10^{-4}$  تسلا، عمود بر خطوط نیروی میدان قرار دارد. اندازه و راستای نیرویی را که از طرف میدان بر این سیم وارد می‌شود معین کنید.

۱۳) سیمی به طول ۲۵ سانتیمتر در يك میدان مغناطیسی یکنواخت به شدت  $1 \times 10^{-4}$  تسلا عمود بر خطوط نیروی میدان قرار داده شده است. هنگامی که جریانی به شدت ۱ آمپر از این سیم می‌گذرد نیرویی برابر  $0.5 \times 10^{-4}$  نیوتن بر آن وارد می‌شود. اندازه  $\vec{I}$  را حساب کنید.

۱۴) سیمی به طول ۱/۰ مترو به وزن  $0.4 \times 10^{-4}$  نیوتن به‌طور افقی در يك میدان مغناطیسی یکنواخت عمود بر خطوط نیروی این میدان قرار گرفته است. وقتی که از سیم جریانی به شدت ۱۵ آمپر می‌گذرد نیرویی از طرف میدان از پایین به بالا بر سیم وارد می‌شود که درست برابر وزن آن است. شدت میدان مغناطیسی چه اندازه است. با رسم يك شکل ساده و با انتخاب جهت جریان در سیم جهت میدان مغناطیسی را مشخص کنید.

## پاسخ به پرسشهای متن

۱-۷) زیرا میدان مغناطیسی حاصل از جریان ضعیف قادر نیست که به وسیله براده آهن طیف مغناطیسی تشکیل دهد.

$$2-7) \text{ داریم } I = 5A \text{ و } d = 1m \text{ بنابراین}$$

$$B = 2 \times 10^{-4} \frac{I}{d} = 2 \times 10^{-4} \times \frac{5}{1} = 10^{-3} T$$

۳-۷) طرز تشخیص قطبهای سیم پیچ در بخش ۶ (بخش آهن ربا) تحت عنوان «آهن ربا کردن به وسیله جریان برق» بیان شده است.

۴-۷) زنگ الكتریکی (زنگ اخبار)، گوشی تلفن، بلندگو، جراثقالهایی که برای انتقال قطعه‌های بزرگ آهن به کار می‌روند و... (به کاربرد مواد مغناطیسی سخت و نرم در بخش ۶)

مراجعه شود) .

۵-۷) برای این که دو قطب مخالف S و N مجاور هم قرار بگیرند و میدان وسط دو قطب شدید بشود . در صورتی که جهت سیم پیچها یکی باشد دو قطب همنام مقابل یکدیگر تشکیل می شود و در نتیجه خطوط میدان از یکدیگر دور می شوند و خاصیت مغناطیسی ظاهر نمی شود .

۶-۷) کافی است جای اتصال سیمها به دو قطب باتری عوض شود .

۷-۷) صفر زیرا  $\alpha$ ، زاویه بین راستای حرکت ذره باردار و راستای خطوط نیرو صفر است. در نتیجه  $\sin \alpha = 0$  و  $F = 0$

۸-۷) انکشت میانی را در جهت حرکت ذره باردار مثبت و انکشت نشانه را در جهت میدان می گیریم در این صورت انکشت شست جهت انحراف ذره را نشان می دهد.

۹-۷) از رابطه  $F = ILB \sin \alpha$  (زاویه بین سیم حامل جریان و خطوط نیروی میدان است).

اگر سیم موازی با راستای خطوط نیروی میدان باشد  $\alpha = 0$  است در نتیجه  $F = 0$  خواهد بود.



# تولید جریان برق به وسیله مغناطیس یا القای الکترومغناطیسی

پس از آن که اووستد در سال ۱۸۱۹ میلادی خاصیت مغناطیسی جریان الکتریسته را کشف کرد و با استفاده از جریان الکتریسته آهن-ربای الکتریکی ساخته شد دانشمندان متوجه این مسئله شدند که چگونه می توان از مغناطیس جریان الکتریسته تولید کرد ؟

تدم اساسی در راه تولید برق به وسیله مغناطیس توسط فارادی دانشمند انگلیسی برداشته شد . کارهای اساسی فارادی در این زمینه از سال ۱۸۳۱ میلادی شروع شد و آزمایشهایی که او انجام داد اساس کار دیناموها و ژنراتورها را تشکیل می دهد . در این بخش ، با چگونگی تولید جریان الکتریسته به وسیله مغناطیس آشنایی بیشتری خواهید یافت .

## شار مغناطیسی

بدیدیم که میدان مغناطیسی موجود در ناحیه ای از فضا را با خطوط نیروی میدان مغناطیسی نشان می دهند . چون خطوط نیروی میدان را برای نشان دادن تغییرات اندوکسیون مغناطیسی  $B$  از یک نقطه به نقطه دیگر اغلب نیز به کار می برند این خطوط را «خطوط اندوکسیون» یا «خطوط القا» نیز می نامند . راستای بردار اندوکسیون مغناطیسی  $B$  در هر نقطه از میدان مماس بر خط القا (یا خط نیروی) مغناطیسی است که از آن نقطه می گذرد و اندازه  $B$  (یعنی شدت

میدان) با تعداد خطوط نیرویی که از واحد سطح می گذرد مشخص می شود . سطح واحد طوری انتخاب می شود که علاوه بر عمود بودن بر خطوط نیروی میدان ، از نقطه مورد نظر نیز بگذرد .

مجموع خطوط القایی  $\Phi$  که از يك سطح محدود می گذرد شار یا فلو مغناطیسی می نامند آن را به  $\Phi$  نمایش می دهند . اگر میدان مغناطیسی بكنواخت باشد و سطح  $A$  عمود بر خطوط نیرو گرفته شود شار مغناطیسی که از این سطح می گذرد برابر است با :

$$\varphi = B \cdot A \quad (1-8)$$

در این حالت اگر  $\alpha$  زاویه بین راستای بردار اندوکسیون  
مغناطیسی (B) و خط عمود بر سطح (ON) باشد  
(شکل ۱-۸) شار مغناطیسی که از سطح A می‌گذرد  
برابر است با:

$$\varphi = B \cdot A \cos \alpha \quad (2-8)$$

واحد B در دستگاه بین‌المللی واحدها، چنان

که دیدیم تسلا (یانیوتن بر متر آمپر<sup>۱</sup>) است بنابراین

$\varphi$  بر حسب  $\frac{\text{نیوتن متر}}{\text{آمپر}}$  بیان می‌شود که آن را وبر<sup>۲</sup>

(با علامت اختصاری wb) می‌نامند.

### تعریف واحد اندوکسیون مغناطیسی

در رابطه (۱-۸)  $\varphi$  بر حسب وبر، B بر حسب

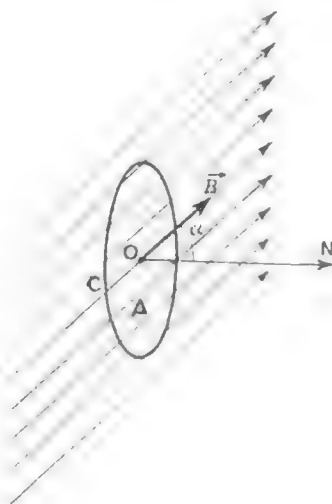
تسلا و A بر حسب متر مربع است و بر اساس همین

رابطه است که تسلا، واحد اندوکسیون مغناطیسی

تعریف می‌شود:

$$1(T) = \frac{1(Wb)}{1(m^2)} \quad (3-8)$$

در این رابطه B معرف تعداد خطوط نیرویی  
است که از واحد سطح می‌گذرد، بنابراین می‌توان  
گفت شدت میدان مغناطیسی (یا اندازه القای  
مغناطیسی B) عبارتست از شار مغناطیسی که از  
واحد سطح عمود بر راستای خطوط نیروی میدان  
(یا خطوط القا) می‌گذرد و آن را چگالی شار  
مغناطیسی نیز نامیده‌اند.



نکل ۱-۸- فلوی مغناطیسی که از یک سطح می‌گذرد برابر است با

$$\varphi = B \cdot A \cos \alpha$$

بدیهی است اگر سطح A بر راستای خطوط

نیروی میدان عمود نباشد شار کمتری از آن می‌گذرد

یعنی: تسلا اندوکسیون مغناطیسی یکواختی است

که اگر در صفحه‌ای به مساحت یک متر مربع و در

راستای عمود بر صفحه توزیع کرده، شار مغناطیسی

که از آن سطح می‌گذرد برابر یک وبر باشد.

در دستگاه واحدهای قدیمی سانتیمتر-گرم-

۱- نیوتن بر متر آمپر از رابطه  $F = qVB$  که در بخش ۷ با آن آشنا شده‌اید نتیجه می‌شود

$$B = \frac{F(N)}{q(C) \cdot V\left(\frac{m}{s}\right)} \quad \text{و} \quad \left(\frac{C}{s}\right) \text{ برابر آمپر است.}$$

۲- به افتخار Wilhelm weber (۱۸۹۰-۱۸۵۴ میلادی)

نانه (cgs)، واحد شار مغناطیسی ماکسول است و B در این دستگاه بر حسب  $\frac{\text{ماکسول}}{\text{سانتیمتر مربع}}$  یا «گوس» بیان می شود برای مقایسه واحدهای دستگاه جدید SI با واحدهای cgs که در کتابهای فیزیک قدیم نوشته شده است یاد آور می شویم که :

$$\frac{\text{ماکسول}}{\text{سانتیمتر مربع}} = 1 = 1 \text{ گوس}$$

$$\frac{\text{ویر}}{\text{متر مربع}} = 1 = 1 \text{ تسلا}$$

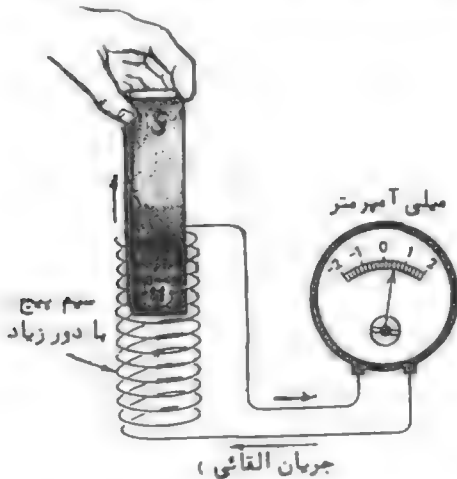
$$\text{گوس } 10^4 = 1 \text{ تسلا}$$

$$\text{ماکسول } 10^8 = 1 \text{ ویر}$$

### آزمایشهای فارادی برای تولید جریان الکتریسته به وسیله مغناطیس

فارادی در یادداشتهای خود شرح داده است که چگونه در یک سیم پیچ مسی، که آن را روی یک لوله مقوایی پیچیده و دوسرش را به یک آمپرمنج بسیار حساس (گالوانومتر) وصل کرده بود، هنگام نزدیک کردن یا دور کردن یک آهن ربا به سیم پیچ در آن جریان الکتریسته موقتی به وجود آمده و گالوانومتر این جریان را نشان داده است. در زمان فارادی، هنوز سیمهای روپوشدار مسی که امروزه متداول است ساخته نشده بود و فارادی با نوار پارچه ای هر لایه سیم پیچ را از لایه دیگر جدا می کرد. شما هم می توانید آزمایش فارادی را به آسانی تکرار کرده و جریان القایی تولید کنید: دوسیم پیچ قرقره مانندی را که مثلاً دارای ۴۰۰

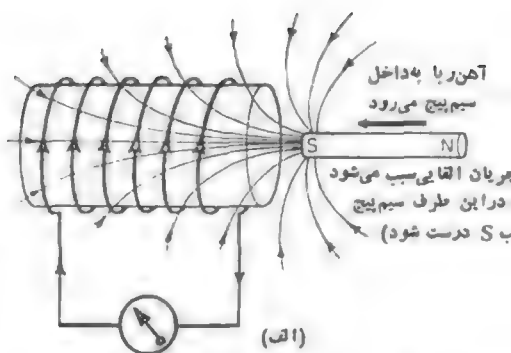
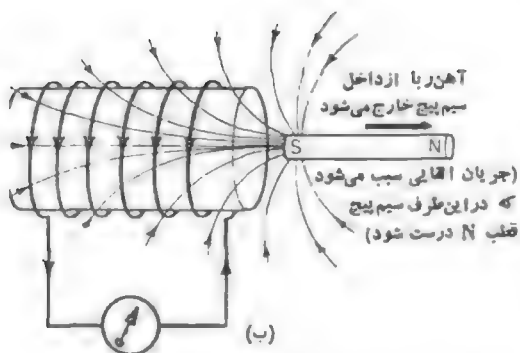
یا ۶۰۰ حلقه است با سیمهای رابط به دو محل اتصال یک میلی آمپر متر وصل کنید (شکل ۸-۲) و یکی از قطبهای یک آهن ربا تیغه ای را به سرعت وارد سیم پیچ نمایید. عقربه میلی آمپر متر در یک جهت منحرف می شود. وقتی که آهن ربا را درون سیم پیچ



شکل ۸-۲- نمونه آزمایش فارادی برای ایجاد جریان القایی

بی حرکت نگاه می دارید عقربه به جای خود برمی گردد و هیچ انحرافی را نشان نمی دهد ولی هنگامی که آهن ربا را از سیم پیچ دور می کنید عقربه در خلاف جهت اول خود منحرف می شود و نشان می دهد که جریان الکتریسته در خلاف جهت اول خود در سیم پیچ ایجاد می شود (شکل ۸-۳ الف و ب). این پدیده را القای الکترومغناطیسی و جریان حاصل را جریان القایی نامیده اند.

در این آزمایشها بهتر این است از میلی آمپرتری استفاده شود که صفر درجه بندی آن در وسط صفحه



ب - با دور کردن قطب S آهن ربا از سیم بیچ ، جهت جریان در سیم بیچ معکوس و انضیای آن تبدیل به قطب N می شود .

الف - با نزدیک کردن قطب S آهن ربا به سیم بیچ ، جریان القایی طوری در سیم بیچ ایجاد می شود که انتهای سیم بیچ به قطب S آهن ربا ، نیر قطب S می شود .

شکل ۸-۴. القای الکترومغناطیسی

۲- شدت آهن ربایی آهن ربا :

۳- سرعت حرکت آهن ربا نسبت به سیم بیچ .

پرش ۸-۲ - اگر آهن ربا را ثابت نگاه داریم

ولی سیم بیچ را به آن نزدیک یا از آن دور کنیم آیا

باز هم جریان القایی در آن تولید می شود ؟

نتایج حاصل از آزمایشهای بالا در قانون زیر

به نام «قانون القای الکترومغناطیسی فارادی» خلاصه می شود :

### قانون القای الکترومغناطیسی فارادی :

هرگاه شاد مغناطیسی که از يك مدار می گذرد

تغییر کند در آن مدار نیروی محرکه ای القا می شود

که اندازه آن بستگی به سرعت تغییر شاد مغناطیسی

(یعنی میزان تغییر شاد در واحد زمان) دارد .

پس از انتشار گزارش کارهای فارادی درباره :

تولید جریان برق به وسیله مغناطیس ، دانشمندان

کشورهای دیگر آزمایشهای فارادی را تکرار ،

مدرج باشند و در نتیجه عقربه در وسط صفحه مدرج

قرار گیرد تا انحراف آن به هر دو طرف مشخص شود .

توجه به این نکته مهم است که جریان القایی

در صورتی در سیم بیچ به وجود می آید که شاد (فلوی)

مغناطیسی که از درون آن می گذرد تغییر کند . بنا بر این

اگر آهن ربا در مقابل سطح سیم بیچ بی حرکت بماند

با آن که شاد مغناطیسی از درون سیم بیچ می گذرد

در سیم بیچ جریان القایی به وجود نمی آید .

پوش ۸-۱ - اگر آهن ربا را مقابل سیم بیچ ثابت

نگاه داریم ولی يك میله آهن خالص ضخیم را به سرعت

وارد سیم بیچ کنیم عقربه میلی آمپر متر منحرف شده

و تولید جریان القایی را نشان می دهد. آیا می توانید

علت را بیان کنید ؟

فارادی ضمن آزمایشهای خود به این نتیجه

رسید که شدت جریان القایی در سیم بیچ با عاملهای

زیر متناسب است :

۱- تعداد حلقه های سیم بیچ ؛

کارهای او را دنبال کردند. از جمله لنز از کشور روسیه برای تعیین جهت جریان القایی آزمایشهایی انجام داد و نتایج آزمایشهای خود را به صورت قانونی که به نام خود او قانون لنز نامیده می شود به صورت زیر بیان کرد:

### قانون لنز درباره القای الکترومغناطیسی

جهت جریان القایی همواره چنان است که مانع تغییر شار مغناطیسی می شود. شکل (۸-۲) کاربرد این قانون را هنگامی که جریان القایی در يك سیم پیچ به وجود می آید نشان می دهد:

مثلا وقتی قطب S آهن ربا به سیم پیچ نزدیک می شود جهت جریان القایی در سیم پیچ چنان است که انتهای سیم پیچ که مجاور قطب S آهن رباست نیز قطب S می شود تا مانع نزدیک شدن قطب S بشود، زیرا دو قطب همنام یکدیگر را می رانند. برعکس هنگامی که قطب S آهن ربا از سیم پیچ دور می شود جهت جریان القایی در سیم پیچ عوض می شود و همین قطب سیم پیچ که نزدیک قطب S آهن رباست به صورت قطب N درمی آید تا با دور شدن آهن ربا مخالفت کند زیرا دو قطب ناهمنام یکدیگر را می ربایند.

«قانون لنز» در واقع مثال ساده ای از کاربرد «قانون بقای انرژی» است. زیرا وقتی که در يك مدار جریان القایی تولید می شود در آن مدار انرژی الکتریکی به مصرف می رسد. منبع تولید این انرژی کاری است که هنگام حرکت دادن آهن ربا انجام می گیرد. بدیهی است در مقابل انجام این کار باید

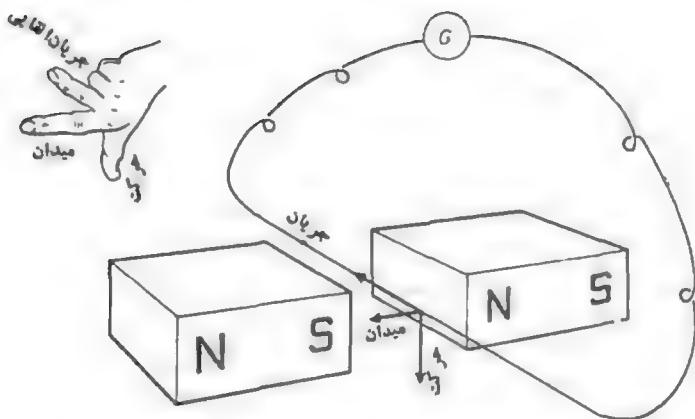
نیروی مخالفی موجود باشد تا آن را به مصرف برساند.

### جهت جریان القایی در يك سیم راست

فارادی ضمن آزمایشهای متعدد خود نشان داد هنگامی که يك سیم راست در يك میدان مغناطیسی و در راستای عمود بر خطوط میدان به حرکت در می آید در آن جریان القایی تولید می شود. شکل (۸-۳) سیم مسی راستی را نشان می دهد که بین دو قطب ناهمنام آهن ربا قرار گرفته و دوسر آن به وسیله سیمهای رابط به دو محل اتصال يك میکروآمپر متر متصل است. (بهتر این است که صفر میکروآمپر متر وسط صفحه مدرج باشد). اگر سیم روبه پایین به حرکت در آید به طوری که خطوط میدان مغناطیسی قطع شوند، جریان القایی در آن در جهتی که روی شکل نشان داده شده است به وجود می آید و عقربه میکروآمپر متر در جهت معینی منحرف می شود. اگر سیم روبه بالا به حرکت در آید جهت جریان در آن معکوس می شود و عقربه در خلاف جهت اول خود منحرف می گردد.

پرسش ۸-۳- اگر سیم موازی با خطوط میدان به حرکت در آید در آن جریان القایی تولید نمی شود. آیا می توانید علت آن را بیان کنید؟

چند سال بعد از آزمایش فارادی، فلمنگ با تکرار آزمایشهای او دستور ساده ای وضع کرد که به کمک آن می توان ارتباط بین جهت میدان مغناطیسی و جهت حرکت سیم و جهت جریان القایی را در آن به آسانی معین کرد. این دستور که به نام خود او



شکل ۴-۸- وقتی که یک سیم راست عمود بر خطوط میدان به حرکت درآید در آن جریان القایی تولید می‌شود.

دستور سه انگشت دست راست فلמי‌نگ نامیده می‌شود (از  $N$  به سوی  $S$ ) و انگشت شست را در جهت حرکت سیم بگیرید انگشت میانی جهت جریان القایی چنین است :

را نشان می‌دهد (شکل ۴-۸) .

به خاطر بسپارید :

شست : حرکت

نشانه : میدان

میانی : جریانی

دستور سه انگشت دست راست فلמי‌نگ

انگشت‌های شست و نشانه میانی دست راست

خود را طوری نگاه‌دارید که دو به دو برهم عمود باشد . اگر انگشت نشان را در جهت میدان مغناطیسی

پرسش ۴-۸- ایجاد نیروی محرکه القایی

معرف این است که یک مقدار انرژی الکتریکی در

مدار تولید می‌شود. منبع تولید این انرژی چیست؟

نیروی محرکه القایی

می‌دانیم هرگاه بار الکتریکی  $q$  با تندی

ثابت  $v$  در یک میدان مغناطیسی که چگالی شار

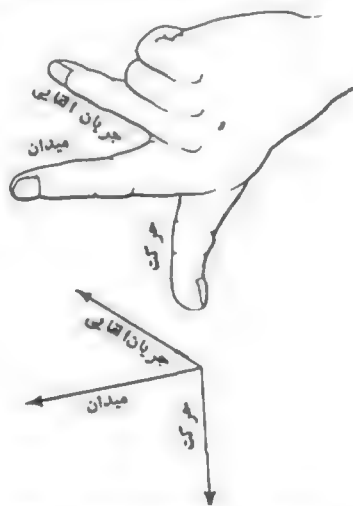
مغناطیسی (اندوکیون مغناطیسی) آن  $B$  است حرکت

کند بر این بار الکتریکی نیرویی وارد می‌شود که آن

را از مسیر اولیه خود منحرف می‌نماید . اندازه این

نیرو هنگامی که بار  $q$  عمود بر راستای خطوط القای

مغناطیسی حرکت می‌کند از رابطه زیر حساب



شکل ۴-۸- دستور سه انگشت دست راست



می‌شود؛<sup>۱</sup>

$$F = Bqv$$

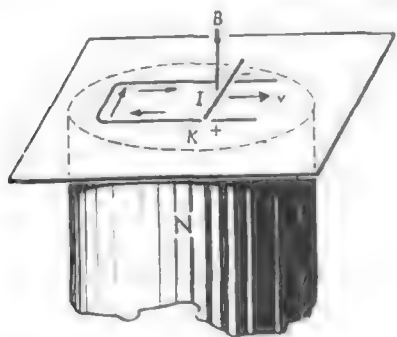
و راستای نیروی  $F$  نیز عمود بر راستاهای  $B$  و  $v$  است.

وقتی يك سیم منفرد در میدان مغناطیسی طوری حرکت می‌کند که خطوط نیروی میدان قطع می‌شوند، هر يك از بارهای الکتریکی درون انتهای سیم تحت تأثیر يك نیروی  $F$  قرار می‌گیرد که موازی با سیم است. چون در يك جسم هادی، فقط الکترون‌های آزاد سیم که دارای بار منفی هستند تحت تأثیر نیروی  $F$ ، حاصل از حرکت بار در میدان، به يك سر سیم منتقل شده در آنجا پتانسیل منفی به وجود می‌آورند و در نتیجه در سر دیگر سیم پتانسیل مثبت به وجود می‌آید و میان دو سر سیم اختلاف پتانسیل برقرار می‌شود. اگر جسم هادی به جای سیم فلزی، يك مایع یا گاز یونیزه باشد، یون‌های منفی آن به يك طرف و یون‌های مثبت آن به طرف دیگر حرکت می‌کنند.

اینک در نظر بگیریم که يك قطعه سیم راست روی يك سیم دیگر به شکل  $U$  قرار گرفته است و به آسانی می‌تواند روی آن بلغزد و این مجموعه مدار بسته‌ای را تشکیل می‌دهد<sup>۲</sup> اگر این مجموعه را مطابق شکل (۸-۵) در میدان مغناطیسی  $B$  قرار دهیم و قطعه سیم راست را در جهتی که در شکل نشان داده شده است روی هادی  $U$  تغییر مکان دهیم اختلاف

پتانسیلی که در دوسر آن ایجاد می‌شود الکترون‌ها را در مدار به حرکت در می‌آورد و بدین ترتیب جریان القایی تولید می‌شود. به عبارت دیگر، هادی متحرك در میدان مغناطیسی به صورت يك منبع نیروی محرکه دمی آید.

جهت جریانی که در شکل نشان داده شده است



شکل ۸-۵- ایجاد جریان القایی در اثر حرکت يك هادی در میدان مغناطیسی. جهت حرکت الکترون‌ها در مدار خلاف جهت نشان داده شده است.

همان جهت قراردادی جریان است.

نیروی محرکه‌ای که بدین‌سان در يك هادی به طول  $l$  ایجاد می‌شود معرف مقدار کاری است که واحد بار الکتریکی هنگام جریان‌آزیک‌سر هادی به‌سر دیگر آن انجام می‌دهد. چون کار، برابر حاصل ضرب نیرو در تغییر مکان است بنابراین کار نیروی:

$$F = Bqv$$

در تغییر مکان  $l$  برابر است با:

$$W = Bqvl$$

اگر دو طرف این رابطه را بر  $q$  تقسیم کنیم

۱- به بخش ۷ مراجعه کنید.

۲- بدیهی است سیم‌ها بدون روپوش هستند به‌طوری که بین آنها تماس الکتریکی برقرار است.

خواهیم داشت:

$$\frac{W}{q} = Bvl$$

$\frac{W}{q}$  چنان که گفتیم کار انجام یافته برای واحد بار الکتریکی، یعنی نیروی محرکه القایی است، بنابراین:

$$E = Bvl \quad (4-8)$$

$E$  نیروی محرکه القایی است که با اختلاف پتانسیل دوسر قطعه سیم متحرك برابر است. در دستگاه واحدهای بین‌المللی (SI)،  $E$  بر حسب ولت و  $B$  بر حسب تسلا و  $v$  بر حسب متر بر ثانیه و  $l$  بر حسب متر بیان می‌شود.

مثال - اگر سیم راستی به طول ۲۵ سانتیمتر باتندی ثابت ۴۵ متر بر ثانیه در يك میدان مغناطیسی یکنواخت به شدت ۰/۲۰ تسلا، عمود بر راستای خطوط نیروی میدان حرکت کند نیروی محرکه القایی که در آن تولید می‌شود چندولت خواهد بود؟

$$E = Bvl$$

داریم:

$$B = 0.20 \text{ T} \quad \text{و} \quad v = 45 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

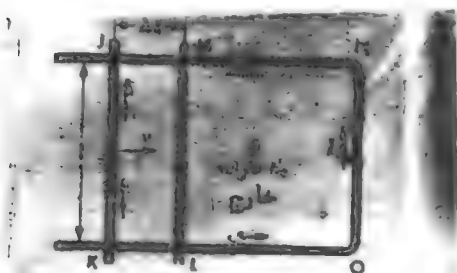
$$l = 0.25 \text{ m}$$

$$E = 0.20 \times 45 \times 0.25 = 2.25 \text{ V}$$

اینک با توجه به مطالب فوق قانون فارادی درباره نیروی محرکه القایی به صورت کاملتر چنین بیان می‌شود:

نیروی محرکه القایی که در اثر تغییر شار مغناطیسی در يك مدار تولید می‌شود برابر است با اندازه تغییر شار مغناطیسی در واحد زمان.

برای توضیح این قانون، دوباره حرکت يك هادی را در میدان مغناطیسی مطابق شکل (۸-۶)



شکل ۸-۶- تغییر شار مغناطیسی سبب ایجاد جریان القایی می‌شود. در این شکل جهت قراردادی جریان نشان داده شده است و جهت حرکت الکترون‌ها خلاف جهت جریان قراردادی است.

روی سیمی به شکل U جداگانه در نظر می‌گیریم. فرض کنیم قطعه سیم متحرك با سرعت  $v$  مطابق شکل حرکت کند. در لحظه‌ای که این قطعه سیم در وضع JK است سطحی که شار مغناطیسی از آن می‌گذرد JKON است. اگر مساحت این سطح را به  $A_1$  نمایش دهیم شار مغناطیسی  $\Phi_1$  که در این لحظه از آن می‌گذرد برابر  $A_1 \cdot B$  است.

پس از گذشت زمان کوتاه  $\Delta t$ ، قطعه سیم متحرك به وضع ML می‌رسد و در این لحظه، شار مغناطیسی  $\Phi_2$  که از مدار بسته MLNO می‌گذرد برابر  $A_2 \cdot B$  است. بنابراین تغییر شار مغناطیسی در مدت  $\Delta t$  برابر است با:

$$\Delta\Phi = \Phi_2 - \Phi_1$$

و نیروی محرکه القایی طبق قانون فارادی برابر

است با:

$$E = \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} \quad (\text{ولت}) \quad (8-5)$$

پرش ۸-۵- چگونه می توان رابطه اخیر را مستقیماً از فرمول  $E = Bv$  بدست آورد؟

یادآوری ۱- تعریف «وِبر» (واحد شار مغناطیسی در دستگاه بین المللی واحدها) از رابطه (۸-۵) نتیجه گرفته می شود. زیرا داریم:

$$\Delta \varphi = E \cdot \Delta t$$

به ازاء  $E = 1$  ولت و  $\Delta t = 1$  ثانیه  $\Delta \varphi = 1$  وِبر خواهد شد. بنابراین وِبر واحد شار مغناطیسی چنین تعریف می شود:

دِبر شار مغناطیسی است که چون از مدارهای که فقط شامل یک حلقه است بگذرد و به طول یکتواند کم شود تا در مدت یک ثانیه به صفر برسد نیروی الکترو-موتوری حاصل از تغییر شار در آن مدار مساوی یک ولت باشد.

یادآوری ۲- در رابطه  $E = \frac{\Delta \varphi}{\Delta t}$  اگر زمان  $\Delta t$  بزرگ باشد  $E$  نیروی محرکه القایی متوسط بین دو لحظه  $t$  و  $t + \Delta t$  است یعنی:

$$\overline{E} = \frac{\Delta \varphi}{\Delta t}$$

( $\overline{E}$  نمایش نیروی محرکه القایی متوسط است). اگر زمان  $\Delta t$  کوچک و کوچکتر شود به طوری که به سمت صفر میل کند تغییر شار  $\Delta \varphi$  نیز به سمت صفر میل می کند و نسبت  $\frac{\Delta \varphi}{\Delta t}$  به سمت حدی میل می نماید که بنا به تعریف مشتق شار مغناطیسی نسبت به زمان است. این حد که آن را به  $\frac{d\varphi}{dt}$  نمایش می دهیم معرف قدر مطلق نیروی محرکه القایی در لحظه  $t$  است یعنی:

$$E = \frac{d\varphi}{dt} \quad (۸-۶)$$

جهت نیروی محرکه القایی- نیروی محرکه القایی هم جهت با جریان القایی است و جهت آن، چنان که می دانیم، عموماً چنان است که مانع تغییر شار مغناطیسی می شود (قانون لنز). جهت نیروی محرکه القایی در یک سیم راست از دستور سه انگشت دست راست معین می شود. معمولاً برای نشان دادن قانون لنز، نیروی محرکه القایی را به صورت زیر نمایش می دهند.

$$E = - \frac{d\varphi}{dt} \quad (۸-۷)$$

علامت منها که جلو  $\frac{d\varphi}{dt}$  آمده است در اندازه  $E$  مؤثر نیست و فقط معرف قانون لنز است.

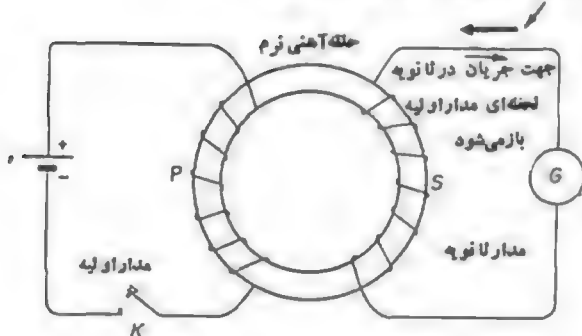
پرش ۸-۶- اگر مداری که در آن جریان القایی تولید می شود دارای مقاومت الکتریکی  $R$  باشد شدت جریان در این مدار از چه رابطه ای حساب می شود؟

## القای متقابل - آزمایش فارادی با یک حلقه آهنی

فارادی، پس از آن که به وسیله یک تیغه آهن ربا جریان القایی در یک سیم پیچ به وجود آورد به این فکر افتاد که به جای تیغه آهن ربا، از سیم پیچ دیگری که از آن جریان برق عبور می داد برای تولید جریان القایی استفاده کند به عبارت دیگر، آهن ربا ی الکتریکی را برای تولید جریان القایی مورد استفاده قرار دهد. روشی که فارادی برای این منظور به کار برد در شکل (۸-۷) نمایش داده شده است:

دو سیم پیچ  $S$  و  $P$  در دو طرف یک حلقه از

جهت جریان در ثانویه لحظه‌ای که مدار اولیه بسته می‌شود



شکل ۸-۷. آزمایشی فارادی با حلقه آهنی

آهن خالص (به قطر ۱۵ سانتیمتر و به کلفتی ۲ سانتیمتر) به نظر شما آیا باز هم جریان القایی در سیم پیچ دوم مقابل هم پیچیده شده است. دوسیم پیچ اولی P

به یک باتری و یک کلید متصل است و دوسیم پیچ دومی S به دومحل اتصال میلی آمپرتری بسته شده است. در لحظه‌ای که کلید را بسته می‌شود در سیم پیچ P جریان برقرار می‌گردد. این جریان سبب می‌شود که شار مغناطیسی، هم از حلقه آهنی و هم از درون سیم پیچ S بگذرد و در نتیجه، در سیم پیچ S جریان موقتی به وجود آید و عقربه میلی آمپرتر انحراف موقتی پیدا کند.

پرسش ۸-۷- این انحراف چه موقع صورت می‌گیرد و تا چه وقت ادامه دارد؟

وقتی که کلید باز می‌شود جریان برق در سیم پیچ P قطع می‌گردد و شار مغناطیسی از بین می‌رود و به علت تغییر ناگهانی شار مغناطیسی، در سیم پیچ S جریان القایی موقتی در خلاف جهت حالت پیش تولید می‌شود و عقربه میلی آمپرتر نیز در خلاف جهت اولیه خود منحرف می‌گردد.

پرسش ۸-۸- اگر به جای حلقه آهنی، سیم پیچها روی حلقه چوبی پیچیده شوند و آزمایش انجام گیرد

به نظر شما آیا باز هم جریان القایی در سیم پیچ دوم به وجود خواهد آمد؟ به طور کلی، هرگاه دوسیم پیچ مجاور هم قرار گرفته باشند به طوری که تغییر شدت جریان در یکی از این دو سیم پیچ سبب ایجاد جریان القایی در دیگری بشود این عمل را «القای متقابل» گویند.

شکل ۸-۸ دو مدار حلقه‌ای شکل (a) و (b) را نشان می‌دهد که روبروی هم قرار گرفته‌اند حلقه (a) متصل به باتری E و رنوستای R است و حلقه (b) وصل به یک میلی ولت متر می‌باشد وقتی که از مدار (a) جریانی به شدت می‌گذرد در اطراف آن میدان مغناطیسی به وجود می‌آید که شدت آن در هر نقطه از میدان متناسب با شدت جریان است و مقداری از این شار مغناطیسی از سطح حلقه (b) می‌گذرد. هرگاه با کم کردن مقاومت رنوستا شدت جریان در مدار (a) افزایش یابد، شار مغناطیسی حاصل از (a) و شار مغناطیسی که از سطح (b) می‌گذرد افزایش می‌یابد و در مدتی که شار تغییر می‌کند نیروی محرکه القایی در مدار (b) به وجود می‌آید که میلی ولت متر آن را نشان می‌دهد. اگر با تغییر مقاومت رنوستا

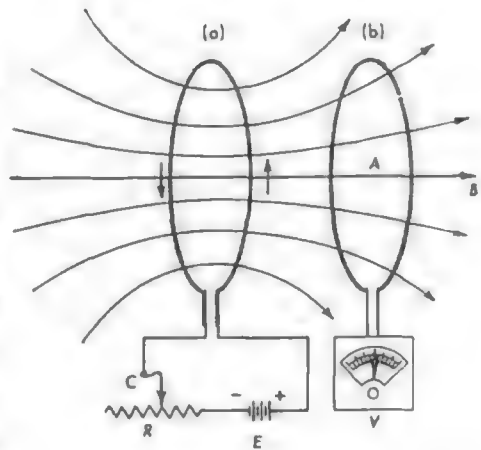
شدت جریان در مدار (a) کاهش یابد، شار مغناطیسی نیز کاهش می‌یابد و در مدار (b) جریان القایی در خلاف جهت حالت نخست تولید می‌گردد.

اگر مدار (b) فقط شامل يك حلقه باشد

نیروی محرکه القایی در آن  $E = -\frac{\Delta\phi}{\Delta t}$  است

ولی اگر این مدار شامل N حلقه باشد و همان تغییر شار  $\Delta\phi$  در آن صورت گیرد نیروی محرکه القایی حاصل از این تغییر شار برابر است با:

$$E = -N \frac{\Delta\phi}{\Delta t} \quad (8-8)$$



فصل ۸-۸-۸- ولتی که فلدت جریان در مدار (a) تغییر می‌کند میدان مغناطیسی اطراف (a) و در نتیجه فلوی مغناطیسی که از سطح حلقه (b) می‌گذرد تغییر می‌کند و در مدار این حلقه جریان القایی تولید می‌شود

می‌توان به‌جای حلقه اولی، سیم پیچ روپوش-

داری انتخاب کرد و به‌جای حلقه دوم، سیم پیچ روپوش‌دار دیگری را روی سیم پیچ اولی پیچید و به‌جای روستا يك كلید قطع و وصل خودکار قرار داد. وقتی كه كلید قطع و وصل می‌شود در سیم پیچ دومی نیروی محرکه القایی به‌وجود می‌آید كه هر چه تعداد حلقه‌های آن بیشتر و زمان قطع و وصل جریان کوتاه‌تر باشد اندازه این نیروی محرکه بیشتر است. چنین دستگاهی «بربین الفاء» نامیده می‌شود.

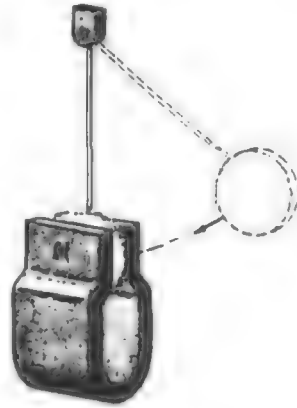
پوشش ۸-۹- در دیناموهای مولد جریان الکتریسته (متناوب یا يك طرفه) تغییر شار مغناطیسی در اثر تغییر چه عاملی حاصل می‌شود؟

### جریانهای گردایی یا جریانهای فوکو

در پاره‌ای از دستگاههای الکتریکی مانند دینامویك قطعه فلزی در میدان مغناطیسی حرکت می‌کند و در پاره‌ای دیگر مانند ترانسفورماتور يك قطعه فلزی در میدان مغناطیسی متغیر قرار دارد و در هر حال درون این قطعه‌های فلزی هم جریان القایی در مسیرهای بسته دایره‌ای شکل به وجود می‌آید كه آنها را جریانهای گردایی یا جریانهای فوکو نامیده‌اند. جهت این جریانها طوری است كه میدانهای مغناطیسی حاصل از آنها بر میدانهای مغناطیسی اصلی طبق قانون لنز اثر می‌کند و مانع حرکت آنها می‌شود. این کیفیت را می‌توان با آزمایش ساده‌ای كه در شكل ۸-۹-۸- نشان داده شده است مجسم كرد: يك قرص مسی یا آلومینیومی كه به صورت آونگگ نوسان می‌کند

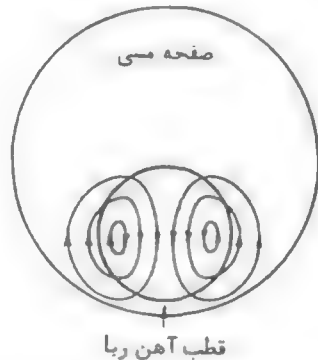
۱- نمونه بربین الفاء معمولا در آزمایشگاه مجزیک موجود است اگر در اختیار دارید از نزدیک ما طرز کار آن آشنا شوید.

وقتی وارد میدان مغناطیسی يك آهن ربا (معمولی یا الکتریکی) می شود حرکتش کند می شود و می ایستد.



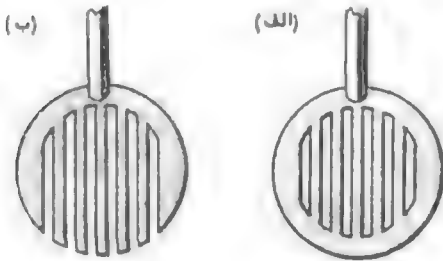
شکل ۸-۹- الف: جریان الکتریکی در قرص مسی که مانند يك پاندول در میدان مغناطیسی نوسان می کند و حرکت پاندول به سمت کند شود و متوقف گردد.

علت این کیفیت چنان که گفتیم این است که در قرص متحرك مطابق شکل (۸-۱۰) جریانهای گردابی به وجود می آید و میدان مغناطیسی حاصل از این جریانها در خلاف جهت میدان مغناطیسی اصلی اثر می کند.



شکل ۸-۱۰- ایجاد جریانهای گردابی در يك قرص مس متحرك در میدان مغناطیسی

اگر قرص مسی مطابق شکل (۸-۱۱-الف) شکاف دار ساخته شود، وقتی که قرص ضمن حرکت آونگی خود وارد میدان مغناطیسی می شود در تیغه های قائم بین شکافها جریان القایی شدیدی به وجود می آید و میدان حاصل از این جریانها مسبب می شود که قرص به آرامی و دیرتر از حالت اول بایستد ولی اگر شکافها مانند شکل (۸-۱۱-ب) باز باشند، هر يك از تیغه ها مانند يك مدار باز عمل می کند و جریان القایی قوی در آن تولید نمی شود، در نتیجه قرص مدت درازی مانند يك آونگ به حرکت نوسانی خود ادامه می دهد.



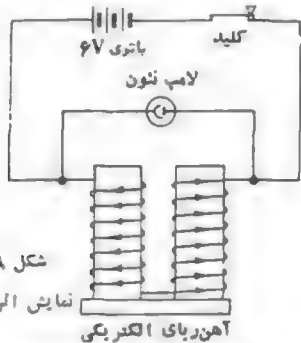
شکل ۸-۱۱- قرص شکاف دار مسی برای نشان داده جریانهای القایی گردابی

در شکل (۸-۱۲) آزمایش جالب دیگری برای نشان دادن تولید جریان القایی گردابی در اثر تغییر شار مغناطیسی نشان داده شده است که به آسانی می توان آن را در آزمایشگاه انجام داد: درون يك سیم پیچ که ۴۰۰ یا ۶۰۰ حلقه دارد يك هسته آهنی بلند در راستای قائم قرار می دهیم و يك حلقه مسی یا آلومینیومی را نیز روی سیم پیچ می گذاریم به طوری که هسته آهنی درون حلقه نیز قرار گیرد، هرگاه سیم پیچ را به برق شهر وصل کنیم حلقه به طرف بالا پرتاب می شود و بالای

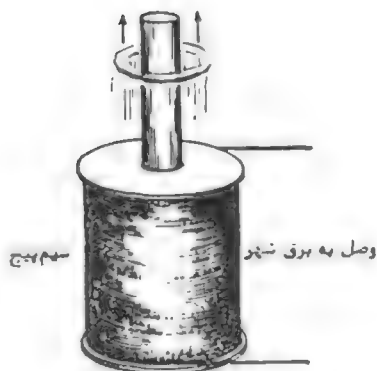
زیرا نیروی محرکه القایی خود به خود در مدار تولید می شود و عامل خارجی در پیدایش آن دخالتی ندارد. اگر تعداد حلقه های سیم پیچ آهن ربای الکتریکی خیلی زیاد باشد نیروی محرکه خود القایی که بدین ترتیب تولید می شود خیلی بزرگتر از نیروی محرکه باتری است .

برای نشان دادن اثر خود القایی کافی است يك لامپ نئون ، مطابق شکل (۸-۱۳) سیمهای رابط به دوسر سیم پیچ آهن ربای الکتریکی متصل شود . اختلاف پتانسیل لازم برای روشن شدن يك لامپ نئون دست کم در حدود ۱۸۰ ولت است . وقتی که کلید بسته است با آن که جریان از سیم پیچ آهن ربای الکتریکی می گذرد لامپ خاموش است ولی هر بار که کلید قطع می شود لامپ چند لحظه روشن می گردد .

آنچه که در اینجا اتفاق می افتد این است که مقداری از انرژی الکتریکی باتری در میدان مغناطیسی سیم پیچ به انرژی مغناطیسی تبدیل می گردد . هنگام قطع کلید ، میدان مغناطیسی از بین می رود و انرژی مغناطیسی دوباره به صورت انرژی الکتریکی به مدار پس داده می شود .



وقتی که کلید مدار باز میشود نیروی محرکه القایی بزرگ سبب روشن شدن لامپ نئون میگردد .



شکل ۸-۱۴. در اثر عبور جریان متناوب از سیم پیچ ، حلقه می قبل لائون نیز به طرف بالا پرتاب می شود.

سیم پیچ معلق می ماند . در این آزمایش حلقه و سیم پیچ مانند يك ترانسفورماتور عمل می کند که سیم پیچ مدار اولیه و حلقه مدار ثانویه آن را تشکیل می دهد و در هر لحظه جهت جریان القایی در حلقه طوری است که قطبهای همنام سیم پیچ و حلقه مقابل هم قرار می گیرند .

## اثر خود القایی

هرگاه دوسر سیم پیچ يك آهن ربای الکتریکی بزرگ را به دو قطب يك باتری و ولتی وصل کرده و در مدار آن کلیدی قرار دهیم هنگام قطع جریان به وسیله کلید ، در محل اتصال کلید جرقه کوچکی می زند . علت این است که با قطع کلید ، شار مغناطیسی که از درون سیم پیچ آهن ربا می گذرد از بین می رود و در اثر تغییر ناگهانی شار مغناطیسی ، خود به خود نیروی محرکه القایی بزرگتری به وجود می آید و همین نیروی محرکه است که سبب زدن جرقه در محل اتصال کلید می شود . این اثر را «خود القایی» می گویند

پرسش ۸-۱- اگر سیم پیچی از یک سیم که دولا شده است پیچیده شود در آن نیروی محرکه القایی یا خود القایی به وجود نمی آید. آیا می توانید علت آن را بیان کنید ؟

### کاربردهای اثر القای الکتروماتیکی

کشف اثر القای الکتروماتیکی توسط فارادی  
سبب شده که دانشمندان برپایه این اثر ، به تدریج وسایل مفیدی اختراع کنند . مثلاً در حدود دوازده

سال بعد از کشف فارادی دستگاه مولد برق (دینامو) اختراع شد. ابتدا از جریان برق حاصل از دینامو برای آب فلزکاری استفاده می شد ولی کم کم از آن برای تولید روشنایی نیز استفاده شد . بحث درباره همه موارد کاربرد اثر القای الکتروماتیکی از برنامه این کتاب خارج است و شما در سالهای بعد به تدریج آنها را خواهید آموخت . در اینجا فقط با چند مورد از کاربرد این اثر ، به ویژه در تولید جریان الکتریسته ، آشنا خواهید شد . پیش از مطالعه



شکل ۸-۱۴- اسبابی را که در این شکل می بینید می توان دستگاه «تقویت قلب» نامید . این دستگاه براساس خاصیت القای الکتروماتیکی ساخته شده است و هزاران بیمار مبتلا به مرض قلب را به زندگی فعال و مؤثر امیدوار ساخته است . سیم پیچی که به رنگ سیاه مشخص شده است درون محفظه پلاستیکی قرار دارد و با عمل جراحی در سطح داخلی قفس سینه نصب می گردد و سیم پیچ دیگری که به رنگ سفید است روی قفسه سینه درست مقابل سیم پیچ سیاه چسبانده می شود . یک دستگاه الکترونیکی کوچک به سیم پیچ سفید متصل است که در آن نوسانات الکتریکی متغلی هماهنگ با ضربانهای قلب

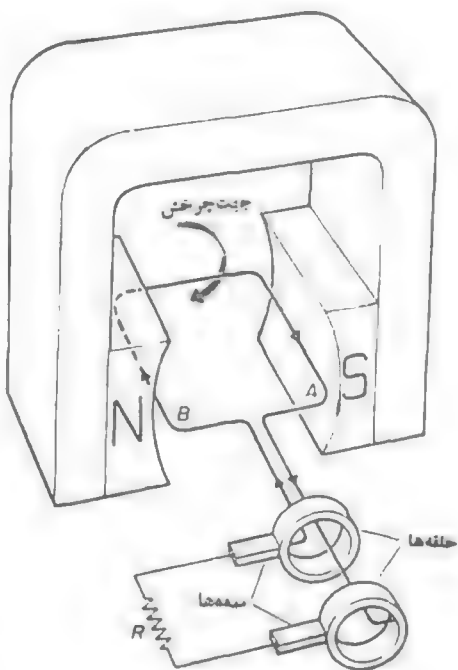
تولید می شود و این نوسانات الکتریکی توسط سیم پیچ سفید در سیم پیچ سیاه که درون قفسه سینه است القا می شود . جریانی که بدین ترتیب در سیم پیچ سیاه القا می شود توسط دوالکتروود که در شکل دیده می شوند به ماهیچه های قلب منتقل می گردد و به این ترتیب یک قلب مریش و خسته با ضربانهای منظم و کنترل شده تقویت می شود. ضربانها به وسیله دگمه ای که روی دستگاه مولد الکترونیکی موجود است تنظیم و کنترل می گردند و اگر در حادثه ای ارتباط مولد با سیم پیچ قطع شود دستگاه ، با کتیدن سوت خطر ، قطع ارتباط را اعلام می کند.



نست بعد نگاهی به شکل (۸-۱۴) و زیرنویس آن  
بشد ازیذ .

## مولد ساده جریان متناوب

شکل (۸-۱۵) ساختمان يك نوع دیناموی  
ساده را نشان می دهد که بنا بر خاصیت القای الکترو-  
ماتیکی به طور دائم جریان متناوب تولید می کند.



شکل ۸-۱۵- مولد ساده جریان متناوب  
(دیناموی مولد جریان متناوب)

جریان حاصل از این دینامورا به این جهت متناوب  
می گویند که سوی و اندازه نیروی محرکه آن مرتباً  
تغییر می کند و تغییرات آن با نظم معینی تکرار  
می شود.

این دینامو دارای سیم پیچی به صورت قاب  
مستطیل شکل است که در میدان مغناطیسی موجود  
بین دو قطب يك آهن ربای دائمی نعلی شکل می-  
چرخد. دو سر سیم پیچ به دو حلقه فلزی متصل است  
که روی محور سیم پیچ نصب شده اند. روی هریک  
از این حلقه ها يك تیغه کربن<sup>۱</sup> تماس دارد که وسیله  
انتقال جریان الکتریسته به مدار خارج است.

وقتی که قاب در میدان مغناطیسی میان دو قطب  
آهن ربا می چرخد، خطوط میدان توسط سیمهایی که  
دو ضلع قاب را تشکیل می دهند قطع می گردند و در  
نتیجه در سیم پیچ جریان القایی تولید می شود.  
برای تعیین جهت جریان در سیم پیچ، کافی است که  
دستور سه انگشت راست را به کار ببریم: اگر قاب  
مطابق شکل، در جهت عقربه های ساعت بچرخد، در  
وضعی که شکل نشان می دهد، جهت جریان در ضلع  
A از عقب به جلو و در ضلع B از جلو به عقب است.  
نمودار شکل (۸-۱۶) نشان می دهد که چگونه

نیروی محرکه دینامو در یک دور کامل سیم پیچ تغییر  
می کند. برای رسم این نمودار، مبدأ زمان را لحظه ای  
انتخاب کرده ایم که سیم پیچ در وضع قائم بوده و ضلع  
A بالا و ضلع B پایین است. در این وضع دو ضلع A و B  
موازی با خطوط میدان حرکت می کنند و چون این

۱- این تیغه ها را زغال دینامو می نامند

خلوط قطع نمی‌شوند در این لحظه نیروی محرکه القایی صفر است. در مدتی که قاب یک چهارم دور می‌چرخد و به وضع افقی در می‌آید (وضعی که در شکل ۸-۱۵ نشان داده شده است) نیروی محرکه از صفر به بیشترین مقدار خود می‌رسد پس، با ادامه چرخش قاب، در مدتی که یک چهارم دور دیگر پیچیده می‌شود نیروی محرکه القایی کاهش می‌یابد و موتمی که دوباره قاب به وضع قائم در می‌آید به صفر می‌رسد ولی در این حالت B بالا و A پایین است.

در مدتی که سیم پیچ نیم دور دوم مسیر خود را می‌پیماید نیروی محرکه القایی که در آن تولید می‌شود مانند نیم دور اول تغییر می‌کند با این تفاوت که جهت جریان در سیم پیچ معکوس می‌شود علت معکوس شدن جهت جریان در سیم پیچ این است که در نیم دور دوم، سوی حرکت ضلعهای A و B در میان خطوط میدان نسبت به نیم دور اول معکوس می‌شود (زیرا A جای B قرار می‌گیرد و B جای A). در دوره‌های بعد هم همین تغییرات نیروی محرکه تکرار می‌شود. اگر این نیروی محرکه متناوب، به دو سر یک مقاومت خارجی R اعمال شود از آن جریان متناوبی خواهد گذشت.

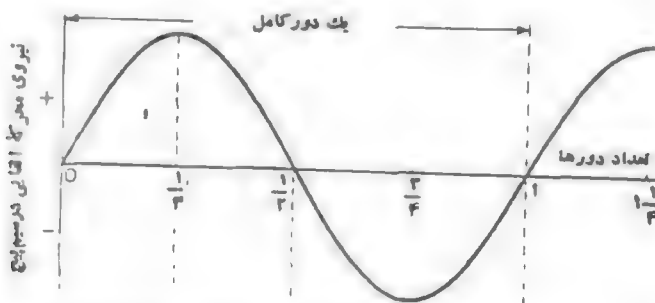
برق شهر چنان که می‌دانید برق متناوبی است که تواتر آن ۵۰ هرتز است. ژنراتورهای تولید کننده این برق را آلترناتور نیز می‌گویند. اساس کار آلترناتورها هم بر خاصیت القای الکترومغناطیسی است ولی ساختمان آنها با دیناموی ساده مولد جریان متناوب تفاوت دارد و شما در سالهای بعد با ساختمان آنها آشنا خواهید شد. در اینجا توجه شما را به این نکته جلب می‌کنیم که با آن که نیروی محرکه مولد برق متناوب بین صفر و بیشترین مقدار خود مرتباً تغییر می‌کند ولی ولت سنج نیروی محرکه ثابتی را نشان می‌دهد که همواره کمتر از بیشترین مقدار نیروی محرکه است. آنچه را که ولت سنج نشان می‌دهد «نیروی محرکه مؤثر» مولد نامیده‌اند. وقتی که جریان متناوب از یک مدار یا از یک اسباب الکتریکی می‌گذرد اختلاف پتانسیل میان دو سر مدار یا دوسر اسباب هم که با ولت سنج اندازه گرفته می‌شود «اختلاف پتانسیل مؤثر» است.

پرسش ۸-۱۱. آیا آمپر سنج هم در مدار شدت

جریان ثابتی را نشان می‌دهد؟

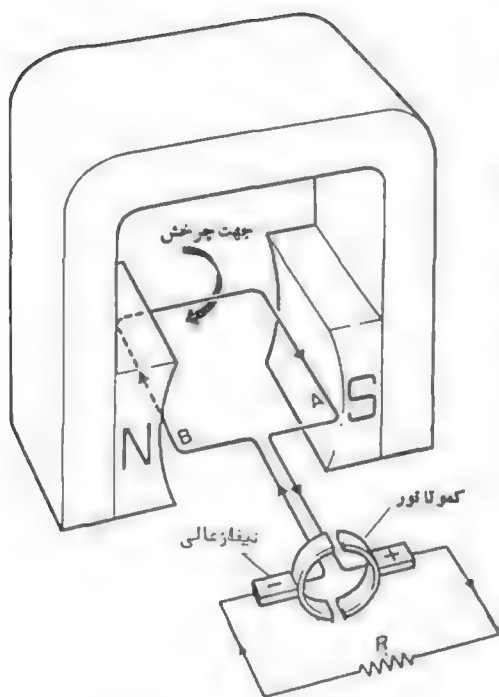
پرسش ۸-۱۲. به نظر شما آیا ولت سنج یا آمپر سنج

با قاب متحرک را که در بخش ۷ با ساختمان و طرز کار



شکل ۱۶-۱۹ نمودار تغییرات نیروی محرکه القایی در دیناموی مولد جریان متناوب

آنها آشنا شدید می‌توان مستقیماً در اندازه‌گیری اختلاف پتانسیل و شدت جریان برق متناوب به‌کار برد؟



## دیناموی ساده برای تولید جریان برق یک‌طرفه

شکل ۸-۱۷ دیناموی ساده‌ای را نشان می‌دهد که به جای جریان متناوب، جریان یک‌طرفه تولید می‌کند یعنی فقط در یک سو به مدار خارج جریان برق می‌فرستد. در این نوع دینامو به طوری که در شکل دیده می‌شود به‌جای دو حلقهٔ جداگانه، دو نیم-حلقه قرار داده شده است که روی هم یک حلقه را تشکیل می‌دهند و دو نیم‌حلقه به وسیلهٔ عایق از یکدیگر جدا شده‌اند. هر یک از دو سرسیم بیچ قاب به یکی از این دو نیم‌حلقه وصل شده است و تیغه‌های کرین (زغال‌های دینامو) مقابل یکدیگر روی نیم-حلقه‌ها تماس دارند. تیغه‌های کرین طوری قرار داده شده‌اند که درست در لحظه‌ای که سیم بیچ از وضع قائم می‌گذرد تماس هر نیم‌حلقه با هر یک از دو تیغه عوض می‌شود. به همین جهت، مجموعهٔ دو نیم‌حلقه را 'کمو تاتور' یا 'برگردانندهٔ جریان' می‌نامند.

شکل ۸-۱۸ نشان می‌دهد که چگونه نیروی محرکه حاصل از این نوع دینامو، در مدتی که سیم بیچ آن یک دور کامل می‌زند، تغییر می‌کند: اگر مبدأ زمان را مانند حالت پیش لحظه‌ای بگیریم که سیم بیچ در وضع قائم باشد، در مدتی که قاب نیم دور اول‌خود را می‌زند نیروی محرکه القا شده در سیم بیچ ابتدا از صفر به بیشترین مقدار خود رسیده دوباره

شکل ۸-۱۷ مولد سادهٔ جریان برق یک‌طرفه (دیناموی ساده مولد برق یک‌طرفه).

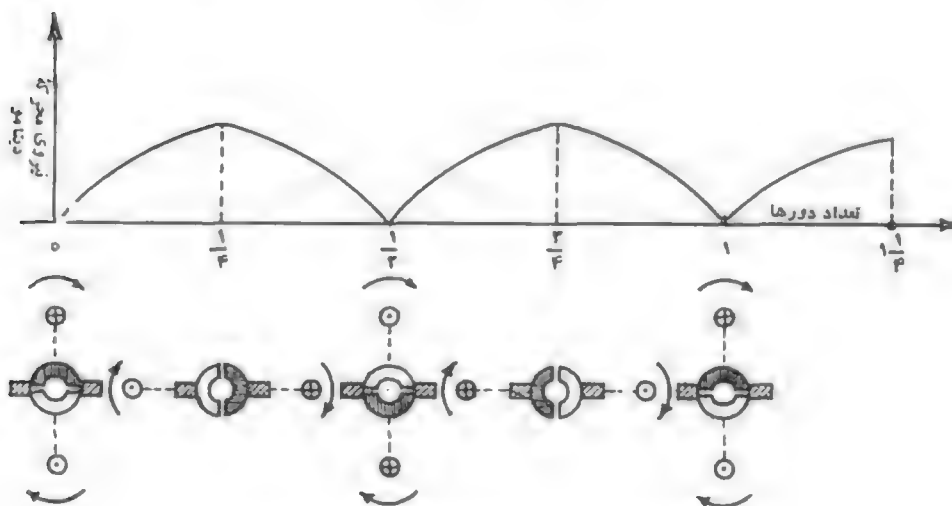
به صفر تنزل می‌کند. در تمام این مدت تیغهٔ زغالی که در شکل ۸-۱۷ درست راسست کمو تاتور است در حکم قطب مثبت دینامو بوده و جریان از آن به مقاومت خارجی  $R$  فرستاده می‌شود و تیغه‌ای که در سمت چپ کمو تاتور است در حکم قطب منفی بوده و جریان را برمی‌گرداند.

در شروع نیم دور دوم یعنی در لحظه‌ای که قاب دوباره از وضع قائم می‌گذرد تماس دو نیم‌حلقهٔ کمو تاتور با تیغه‌های زغالی عوض می‌شود

در نیم دور دوم سیم پیچ با نیروی محرکه آن در نیم دور اول یکسان است.

پرش ۸-۱۳- اگر دوزغال يك دیناموی ساده مولد جریان يك طرفه به دو قطب يك باتری ارتباط داده شود تا جریان الکتریسته از سیم پیچ آن بگذرد آیا سیم پیچ در میدان آهن ربای دینامو خواهد چرخید تا دینامو تبدیل به يك موتور شود؟

زیرا جای دو نیم حلقه عوض می گردد. در این نیم دور، گرچه جهت جریان در خود سیم پیچ نسبت به نیم دور اول معکوس می شود ولی به علت عوض شدن وضعیت تماس نیم حلقه های کموتاتور باتیغه های زغالی، در نیم دور دوم هم مانند نیم دور اول تیغه زغالی طرف راست مثبت و تیغه زغالی طرف چپ منفی می باشد. بنابراین نیروی محرکه دینامو



شکل ۸-۱۸- تغییرات نیروی محرکه در يك دیناموی ساده مولد جریان يك طرفه

- ۲- پیچیدن سیم پیچ روی هسته آهنی تا شار مغناطیسی که از سیم پیچ می گذرد افزایش یابد؛
- ۳- افزودن سرعت چرخش سیم پیچ؛
- ۴- انتخاب آهن ربای قویتر تا حدی که ممکن است.

یکی از معایب دیناموی ساده این است که در هر نیم دور، نیروی محرکه آن به صفر می رسد. در عمل برای برطرف کردن این عیب به جای يك سیم پیچ، چندین سیم پیچ را درون شیارهای استوانه ای

## چگونه می توان نیروی محرکه يك دیناموی ساده را افزایش داد

گفتیم نیروی محرکه القایی متناسب با سرعت شار مغناطیسی است. بنابراین هر عاملی که سبب شود در دینامو تعداد خطوط میدان بیشتری در واحد زمان قطع شود نیروی محرکه دینامو را نیز افزایش می دهد و این عمل به چند طریق صورت می گیرد:

- ۱- افزودن تعداد دورهای سیم پیچ؛

از آهن خالص (به نام آرمیچر<sup>۱</sup>) می‌پیچند. کوماتور عم به جای دومین حلقه به قطعه‌های مسی که به وسیله عایق از هم جدا می‌شوند تقسیم می‌گردد به طوری که دوسر شسیم پیچ به يك جفت قطعه‌مسی مربوط به خودش تحیم می‌شود. نیروی محرکه‌ای که از این نوع دینامو به‌دست می‌آید تقریباً ثابت است. جریانی که این دینامو در مدار خارج می‌فرستد مانند جریانی است که توسط يك باتری در مدار فرستاده می‌شود، به‌عین جهت آن را جریان مستقیم یا جریان پیوسته گویند.

هنگامی که استوانه آهنی (آرمیچر) در میدان مغناطیسی وسط آهن‌ربا می‌چرخد در خود آن نیز مانند سیم‌پیچ جریان القایی به‌وجود می‌آید که سبب گرم شدن آن می‌شود و در واقع جریان مزاحمی است. برای کم کردن اثر این جریان، استوانه را از صفحه‌های آهنی که با لایه‌های ورنی یا اکسید عایق-پوش شده‌اند می‌سازند. به این ترتیب مقاومت الکتریکی استوانه در برابر تولید این جریان مزاحم زیاد و در نتیجه شدت این جریان خیلی کم می‌شود. در دیناموها اغلب به‌جای آهن‌رباهای دائمی از آهن‌ربای الکتریکی استفاده می‌شود و جریان لازم برای تشدید میدان مغناطیسی حاصل از این آهن‌ربا توسط خود دینامو تأمین می‌گردد.

### ترانسفورماتور

در آزمایش‌نارادی باحلقه آهنی (شکل ۸-۷) دیدیم، وقتی شدت جریان در مدار اولیه تغییر می-کند بنا به خاصیت القای متقابل در مدار ثانویه

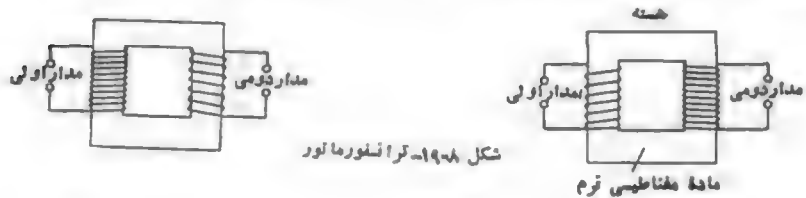
جریان القایی به‌وجود می‌آید، اگر در این آزمایش به دوسر مدار اولیه جریان متناوبی برقرار سازیم، شار متناوبی از حلقه خواهد گذشت و این شار در سیم-پیچ دومی جریان متناوبی القا خواهد کرد که نیروی محرکه آن بستگی به نیروی محرکه مدار اولی یا (اختلاف پتانسیل دوسر مدار اولی) و نسبت حلقه-های دوسیم پیچ دارد، به‌طوری که:

$$(8-9) \quad \frac{\text{تعداد حلقه‌های سیم‌پیچ دومی}}{\text{تعداد حلقه‌های سیم‌پیچ اولی}} = \frac{\text{نیروی محرکه مدار دومی}}{\text{نیروی محرکه مدار اولی}}$$

دستگاهی که سبب می‌شود جریان متناوب به روشی که بیان شد از يك سیم‌پیچ در سیم‌پیچ دیگری القا شود ترانسفورماتور نامیده می‌شود. چنانچه تعداد حلقه‌های سیم پیچ مدار دومی بیشتر از تعداد حلقه‌های سیم‌پیچ مدار اولی باشد نیروی محرکه (یا اختلاف پتانسیل) در مدار دومی بزرگتر از نیروی محرکه (یا اختلاف پتانسیل) در مدار اولی است و برعکس اگر تعداد حلقه‌های مدار دومی کمتر از مدار اولی باشد نیروی محرکه آن نیز کوچکتر است. در حالت اول ترانسفورماتور را افزایشده و در حالت دوم ترانسفورماتور را کاهشده گویند.

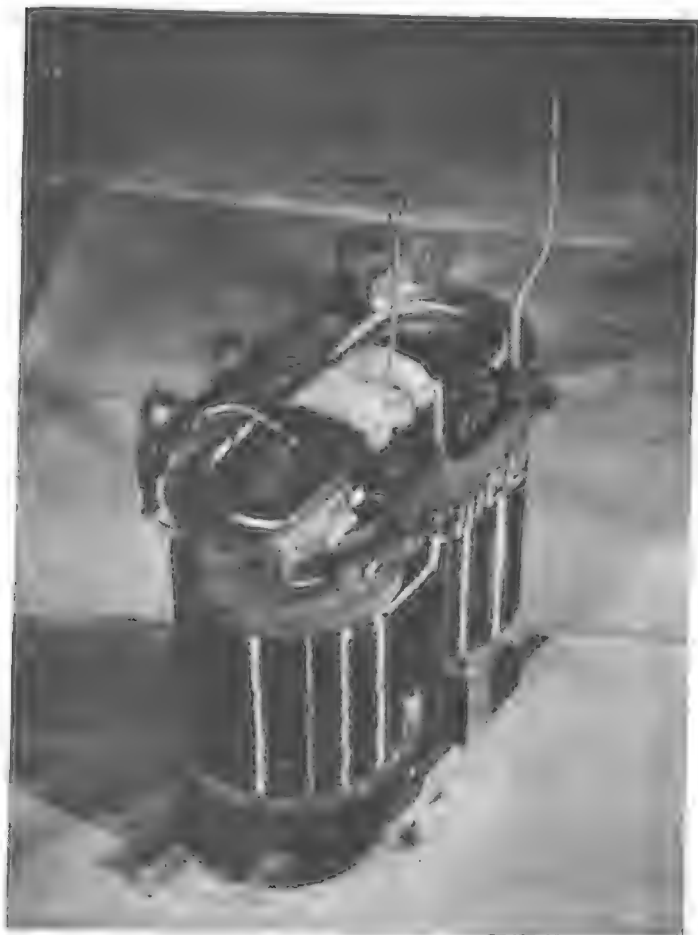
شکل ۸-۱۹ طرح ساختمان يك ترانسفورماتور ساده را نشان می‌دهد که سیم پیچهای دومدار آن در دو بدنه متقابل قابی که از ورقه‌های يك ماده مغناطیسی نرم مانند استالوی (آلیاژ آهن و سیلیسیم) ساخته شده است پیچیده شده‌اند.

شكل ۸-۲۰ نیز ساختمان درونی يك ترانسفورماتور كوچك را نشان می دهد.



ب - ترانسفورماتور گاهانه

الف - ترانسفورماتور اخراينده



شكل ۸-۲۰

اتلاف انرژی در ترانسفورماتور و راههای جلوگیری از آن - ترانسفورماتور را طوری می سازند که اتلاف انرژی درون آن به حداقل ممکن برسد و برای این منظور، در ساختمان آن این نکات را رعایت می کنند:

۱- سیم پیچها را از سیم مسی و با کلفتی حساب شده ای انتخاب می کنند تا اتلاف انرژی حرارتی (به صورت  $RI^2t$ ) در آنها کم باشد.

۲- قاب ترانسفورماتورها از ورقه های عایق پوش شده می سازند تا از ایجاد جریان در خود قاب جلوگیری شود.

۳- جنس قاب را از ماده مغناطیسی نرم انتخاب می کنند تا انرژی الکتریکی که در اثر تغییر جهت جریان مرتباً مصرف معکوس کردن خاصیت مغناطیسی قاب می شود به کمترین مقدار ممکن برسد.

۴- شکل قاب را طوری می سازند که تمام شار مغناطیسی حاصل از سیم پیچ مدار اولی، از درون سیم پیچ مدار دومی بگذرد.

اگر نکات بالا در ساختمان ترانسفورماتور به خوبی رعایت شود اتلاف انرژی در آن خیلی کم است به طوری که می توان گفت:

= توان خروجی از مدار دومی  
توان ورودی به مدار اولی

(۸-۱۰)

پوشش ۸-۱۴- با توجه به روابط ۸-۹ و ۸-۱۰ بگویید ترانسفورماتور افزایشده یا کاهشده چگونه شدت جریان را در مدار دومی تغییر می دهد.

## برتری جریان متناوب بر جریان مستقیم از لحاظ انتقال انرژی الکتریکی

یکی از مزایای مهم جریان متناوب بر جریان مستقیم این است که ولتاژ جریان متناوب را می توان به آسانی و به ارزانی بدون آن که انرژی قابل توجهی ازدست داده شود به طور دلخواه تغییر داد. به همین جهت در بیشتر مراکز تولید برق، جریان متناوب تولید می شود و ولتاژ آن به وسیله ترانسفورماتور بالا برده می شود و بدون افت قابل توجهی به مکانهای مصرف که معمولاً دور از محل تولید هستند انتقال می یابد.

این مسئله به ما امکان می دهد که جریان برق را از محل تأسیسات هیدروالکتریکی یا از مراکز تولید برق توسط انرژی هسته ای، به آسانی و به وسیله کابل های فشار قوی به نقاط مصرف منتقل کنیم و با پایین آوردن ولتاژ آن (تا حد ولتاژ مصرف) از آن استفاده نماییم. معمولاً در چنین تأسیساتی ولتاژ ژنراتورهای مولد برق متناوب از ۱۱۰۰۰ ولت تا ۳۳۰۰۰ ولت است. این ولتاژ به وسیله ترانسفورماتور افزایشده تا ۲۰۰,۰۰۰ ولت (۲۰۰ کیلوولت) ممکن است بالا برود و در پستهای نزدیک شهرها یا مناطق دیگر، به تدریج به وسیله ترانسفورماتور کاهشده تا حد ولتاژ مصرف (مثلاً ۲۲۰ ولت یا ۱۱۰ ولت) پایین آورده شود و به مصرف برسد. مثال عددی زیر نشان می دهد که در کابل فشار قوی، وقتی که ولتاژ بالا باشد اتلاف انرژی خیلی کم است.

مثال: می خواهیم توان ۱۰ کیلووات را به وسیله کابلی که مقاومتش ۰/۵ اهم است انتقال دهیم. اتلاف انرژی را در کابل در دو حالت زیر حساب کنید.

الفوقتی که اختلاف پتانسیل ۲۰۰ ولت است.

ب - وقتی که اختلاف پتانسیل ۲۰۰,۰۰۰

ولت است.

الف - در این حالت شدت جریان در کابل

برابر است با:

$$\frac{10000W}{\text{اختلاف پتانسیل}} = \frac{\text{توان}}{\text{شدت جریان}} =$$

۵۰A

و توان تلف شده در کابل برابر است با:

$$I^2 R = 50^2 \times 0.5 = 1250W =$$

۱/۲۵kW

ب- در این حالت:

$$\frac{\text{توان}}{\text{شدت جریان در کابل}} = \frac{100000}{\text{ولت}} = \frac{100000}{200000} = 0.5A$$

$$I^2 R = 0.5^2 \times 0.5 = 0.125W$$

بنابراین اگر اختلاف پتانسیل انتقال ۲۰۰

ولت باشد اتلاف انرژی در کابل در عرثائیه در حدود

۱۰ درصد توان است در صورتی که به ازای اختلاف

پتانسیل ۲۰۰,۰۰۰ ولت اتلاف انرژی ناچیز است.

مثال زیر نیز مزیت جریان متناوب را بر جریان

پیوسته وقتی که لازم باشد ولتاژ آنها برای مصرف

باین آورده شود نشان می دهد.

مثال - فرض کنیم که می خواهیم یک لامپ

۲۴۷ و ۱۲۷ با استفاده از برق ۲۴۰ متناوب

روشن کنیم برای پایین آوردن اختلاف پتانسیل،

باید از یک ترانسفورماتور کاهنده ۱۰ به ۱ استفاده

کنیم. شدت جریانی که از لامپ باید بگذرد از رابطه

زیر حساب می شود.

آمپر  $\times$  ولت = وات

$$\frac{\text{وات}}{\text{ولت}} = \frac{12}{24} = 0.5A$$

به فرض این که در ترانسفورماتور انرژی

تلف نشود داریم:

توان خروجی = توان ورودی

یعنی  $12W =$  شدت جریان در مدار اولیه  $\times 240$

$$\text{یا: } 0.5A = \frac{12}{240} = \text{شدت جریان در مدار اولیه}$$

شدت جریانی که از انشعاب اصلی گرفته می شود

حال بینیم همین لامپ با جریان ۲۴۰ ولت

$$\text{مستقیم چگونه باید روشن شود؟}$$

در این حالت لازم است یک مقاومت به طور

متوالی به لامپ بسته شود تا اختلاف پتانسیل دو

سر لامپ را به ۲۴ ولت برساند. این مقاومت به

ترتیب زیر حساب می شود:

اختلاف پتانسیل دو سر لامپ باید ۲۴ ولت

باشد بنابراین اختلاف پتانسیل دو سر مقاومت اضافی

$$240 - 24 = 216V \text{ می شود. چون لامپ}$$

و مقاومت به طور متوالی به هم بسته می شوند از

هر دو جریان ۰/۵ آمپر می گذرد. بنابراین اندازه

$$\text{مقاومت (طبق رابطه } R = \frac{V}{I} \text{) برابر است با } \frac{216}{0.5}$$

یا ۴۳۲ اهم.

چون شدت جریان اصلی (هم در مقاومت و

هم در لامپ) ۰/۵ آمپر است بنابراین:

$$\text{آمپر} \times \text{ولت} = \text{توان کل گرفته شده از منبع}$$

$$120W = 0.5 \times 240$$

از این توان فقط ۲۴ وات در لامپ به مصرف

می رسد و ۱۰۸ وات بقیه در مقاومتی که به آن به

طور متوالی بسته می شود به صورت گرما تلف

می گردد.



## خودتان آزمایش کنید

- (۱) با وسایلی که در آزمایشگاه در اختیار دارید آزمایشهایی را که در این بخش برای ایجاد جریان القایی یا خود القایی بیان شده است انجام دهید.
- (۲) به کمک سیم پیچهای ۴۰۰ دور و ۵۰۰ دور و ۶۰۰ دور، و با قاب مخصوص ساختن ترانسفورماتور که معمولاً در آزمایشگاهها وجود دارد، ترانسفورماتور بسازید و مدار اولی آن را به برق شهر وصل کنید و با ولتسنج که مخصوص جریان متناوب و برای ولتهای زیاد ساخته شده است اختلاف پتانسیل دوسر مدارهای اولی و دومی را اندازه بگیرید و رابطه ۸-۹ که در متن درس داده شده است تحقیق کنید. توجه کنید وقتی که با برق شهر کار می کنید تعداد دورهای سیم پیچهای مدار اولی نباید کمتر از میزانی که در این آزمایش گفته شده است باشد زیرا ممکن است سیم پیچ آسیب ببیند.

## به این پرسشها پاسخ دهید

- (۱) اصطلاحات «القای الکترومغناطیسی» و «نیروی محرکه القایی» را تعریف کنید.
- (۲) سه آزمایش بیان کنید که به وسیله آنها بتوان نیروی محرکه القایی ایجاد کرد و عواملی را که نیروی محرکه القایی جهت آن بستگی به آنها دارد نام ببرید.
- (۳) یکی از کاربردهای عملی القای الکترومغناطیسی را به اختصار شرح دهید و آن را با رسم شکلی مجسم کنید.
- (۴) قانونهای فارادی و لنز را درباره القای الکترومغناطیسی بیان کنید.
- آزمایشی را شرح دهید که به کمک آن بتوان در یک سیم راست وقتی که در میدان مغناطیسی حرکت می کند جریان القایی به وجود آورد. در چه صورت نیروی محرکه القایی حاصل ماکزیمم و در چه صورت با آن که سیم حرکت می کند صفر است؟ در واقع شرط ایجاد نیروی محرکه القایی در این سیم راست چیست؟
- (۵) قانونهایی را بیان کنید که اندازه جهت جریان حاصل از القای الکترومغناطیسی را به دست می دهند. آزمایش ساده ای که یکی از قوانین را نشان دهد شرح دهید.
- (۶) از موارد زیر کدامشان مولد جریان القایی هستند؟  
الف- اتصال یک باتری به دوسر سیم حلقه ای شکلی له رو به روی سیم حلقه ای  
شکل دیگری قرار دارد.

ب- قطع اتصال باتری از دو سرسیم حلقه‌ای شکل مثال الف.

پد حرکت دادن يك آهنربا درون يك حلقه فلزی مسدود.

ت- حرکت دادن حلقه فلزی مسدود در میدان مغناطیسی یکنواخت به موازات خطوط نیروی میدان.

ج- نگاهداشتن حلقه فلزی در میدان آهنربائی یکنواخت.

۷- در نظر بگیرید که دو آهنربای تیغه‌ای را از یک سرشان گرفته‌ایم و آنها را در يك ارتفاع از سطح زمین دو راستای قائم به‌فاصله نسبتاً دوری ازهم نگاهداشته‌ایم. هرگاه این دو آهنربا را باهم رهاکنیم و یکی از آنها به‌هنگام سقوط از درون مدارحلقه‌ای شکل بسته‌ای بگذرد کدام يك زودتر به‌سطح زمین می‌رسد، چرا؟

۸- يك سیم پیچ دایره شکل مسطح به‌دور یکی ازقطرهایش که عمود برخطوط يك میدان مغناطیسی یکنواخت است می‌چرخد. نموداری رسم کنید که تغییرات نیروی محرکه القا شده در آن را برحسب زاویه بین سیم پیچ و راستای میدان نشان دهد. (اندازه زاویه‌ها را روی محور افقی ببرید). اگر سیم پیچی را که تعداد دورهای بیشتر یا سطح بزرگتری دارد به‌کار ببرید چه تأثیری درنیروی محرکه القایی تولید شده در آن خواهد داشت؟

۹- با رسم شکل طرزکار يك دیناموی مولد ساده جریان متناوب را شرح دهید، چگونه می‌توان آن را تبدیل به يك دیناموی ساده مولد جریان يك طرفه کرد؟

۱۰- وقتی که يك ترن (غیرالکتریکی) روی ریل‌های خود حرکت می‌کند اختلاف پتانسیل کوچکی بین دوریل به‌وجود می‌آید. علت را توضیح دهید و بحث کنید که مقدار و علامت این اختلاف پتانسیل بستگی دارد:

الف - به سرعت حرکت ترن.

ب - به راستای حرکت ترن (نسبت به راستای شمال و جنوب).

ج - به این که ترن به‌ناظر نزدیک یا از او دور شود.

۱۱- مزیت جریان متناوب برجریان بی‌یوسته به‌هنگام انتقال این دو جریان از محل تولید به نقاط دور چیست؟ توضیح دهید.

۱۲- می‌خواهیم با استفاده از يك دیناموی مولد برف متناوب ۲۴۰ ولتی، يك لامپ ۱۲۰ ولتی را روشن کنیم. با رسم شکل دو روش را شرح دهید که در یکی اتلاف انرژی زیاد و در دیگری اتلاف انرژی هرچه ممکن است کم باشد. توضیح دهید که در هریک از دو روش انرژی چگونه تلف می‌شود.

۱۳- شکل ساده‌ای از يك ترانسفورماتور رسم کنید و توضیح دهید که چگونه قانونهای الکتروماتیکی در ساختمان و طرزکار آن به‌کار رفته است. چرا قاب وسط سیم پیچها را ورقه

ورقه می‌سازند و ورقه‌ها را عایق‌پوش می‌کنند.

۱۲) نموداری رسم کنید که تغییرات اختلاف پتانسیل بین دوسیم اصلی حامل جریان متناوب را برحسب زمان نشان دهد، چه شباهتها و چه اختلافهایی بین نتایج حاصل از جریان متناوب و جریان مستقیم وجود خواهد داشت اگر هر يك آنها به نوبه خود از وسایل زیر بگذرد :

الف - ازمیمی که در راستای شمال و جنوب بالای يك عقربه مغناطیسی قرار دارد.

ب - از ولتامتر محتوی آب اسیدسولفوریک دار با الکترودهای پلاتین.

ج - از يك سیم با مقاومت الکتریکی زیاد.

د - از مدار اولیه يك ترانسفورماتور.

۱۵) - طرح ساده يك دیناموی مولد جریان متناوب و يك دیناموی مولد جریان يك طرفه را بکشید و طرزکار هريك را در چند سطر بنویسید و نمودار تغییرات نیروی محرکه آنها را در يك دور چرخش قاپ رسم کنید.

۱۶) - چرا با آن که اصطکاک کم است، سیم پیچ يك دینامو درون آهن ربا به آسانی نمی‌چرخد؟

۱۷) - يك ترانسفورماتور را طرح ریزی کنید که از ثانویه آن بتوان چند ولتاژ مختلف گرفت.

۱۸) - چرا از ترانسفورماتور نمی‌توان در جریان پیوسته استفاده کرد؟

## این مسئله‌ها را حل کنید

۱) برای انتقال جریان الکتریکی به توان ۱۰۰ کیلووات، ازمیمهایی به مقاومت الکتریکی  $\frac{1}{10}$  اهم استفاده می‌شود در دو حالت زیر اتلاف انرژی را در سیمهای انتقال حساب کنید.

الف - اختلاف پتانسیل ۲۴۰ ولت است.

ب - اختلاف پتانسیل ۱۰۰۰۰۰ ولت است.

۲ - سیمی بطول  $\frac{1}{5}$  متر با سرعت ثابت ۲۴ متر بر ثانیه در یک میدان مغناطیسی به شدت

$2 \times 10^{-5}$  سلا در راستای عمود بر خطوط میدان حرکت می‌کند اختلاف پتانسیل القایی دو سر این سیم را حساب کنید.

جواب:  $\frac{1}{8}$  ولت

۳) مدار اولیه يك ترانسفورماتور به برق ۲۴۰ ولت شهر متصل است و هنگامی که در

مدار ثانوی آن ۱۰ لامپ «۲۴W و ۱۲۷» به‌طور موازی بسته می‌شود شدت جریانی که این

ترانسفورماتور توسط مدار اولیه خود از شبکه برق شهر می گیرد ۱/۱ آمپر است.  
الف - بازده ترانسفورماتور (یعنی نسبت توان مصرف شده در مدار ثانویه به توان داده شده به مدار اولیه) را حساب کنید.

ب - قیمت برق مصرف شده از قرار هر کیلووات ساعت ۳ ریال در صورتی که ترانسفورماتور ۱۰ ساعت کار کرده باشد، چیست؟

۴) یک ترانسفورماتور افزاینده، ۲۰ ولت مدار اولیه را به ۲۵۰ ولت در مدار ثانویه تبدیل می کند. اگر بازده این ترانسفورماتور ۰/۹۰ باشد. مطلوب است شدت جریان در مدار اولیه در صورتی که در مدار ثانویه از یک لامپ ۱۰۰W، ۲۵۰V استفاده شود.  
۵) سیم پیچهای مدار اولی و دومی یک ترانسفورماتور به ترتیب دارای ۴۰۰ دور و ۲۰۰۰ دور حلقه سیم مسی می باشند. اگر دوسر مدار دومی به برق ۲۲۰ ولت شهر متصل شود. اختلاف پتانسیل دوسر مدار اولی چند ولت خواهد شد؟

## پاسخ به پرسشهای متن

۸-۱) علت این است که با قرار گرفتن میله آهنی درون سیم پیچ، همه خطوط میدان متوجه آن می شوند و در اثر تراکم خطوط میدان در میله آهنی، شار مغناطیسی که از درون سیم پیچ می گذرد تغییر می کند و جریان القایی به وجود می آید.

۸-۲) بلی، تغییر مکان نسبی آهن ربا و سیم پیچ سبب تغییر شار مغناطیسی و ایجاد جریان القایی می شود.

۸-۳) علت این است که در این حالت خطوط میدان به وسیله سیم قطع نمی شوند.

۸-۴) انرژی مکانیکی حاصل از حرکت دادن وضع سیم یا آهن ربا نسبت به یک دیگر. مدیهی است هر چه سرعت حرکت سیم یا شدت میدان مغناطیسی بیشتر باشد کار انجام یافته بیشتر و در نتیجه نیروی محرکه القایی ایجاد شده زیادتر است.

۸-۵) اگر اندازه تغییر مکان سیم را در زمان  $\Delta t$  به  $\Delta s$  نمایش دهیم  $v = \frac{\Delta s}{\Delta t}$  خواهد

بود بنابراین  $E = B \cdot \frac{\Delta s}{\Delta t}$ . از طرف دیگر  $\Delta s \cdot l = \Delta A$  برابر تغییر سطح مدار است.

$$E = \frac{B \cdot \Delta A}{\Delta t} = \frac{\Delta \phi}{\Delta t}$$

بنابراین

$$i = \frac{1}{R} \frac{\Delta \varphi}{\Delta t} \quad \text{یا} \quad i = \frac{E}{R} \quad (8-9) \quad \text{از رابطه}$$

(8-9) در همان لحظه‌ای که کلید بسته می‌شود.

(8-8) بلی ولی خیلی کمتر از وقتی که حلقه آهنی است.

(8-9) در اثر تغییر زاویه  $\alpha$  بین راستای خطوط نیروی میدان مغناطیسی و راستای خط

عمود بر سطح قاب. زیرا در رابطه کلی  $\varphi = B \cdot A \cos \alpha$ ، اندازه‌های  $B$  (شدت میدان) و  $A$  (سطح قاب مستطیل شکل حامل سیم بیج) ثابت هستند و تنها زاویه  $\alpha$  است که در اثر چرخیدن قاب تغییر می‌کند.

(8-10) سیم بیج دولا در حکم دو بیج است که در خلاف جهت هم در آنها جریان تولید شود.

این دو جریان اثر یکدیگر را خنثی می‌کنند.

(8-11) بلی- شدت جریانی که آمپر سنج نشان می‌دهد شدت مؤثر نام دارد.

(8-12) نه: زیرا جهت جریان متناوب دائماً تغییر می‌کند. اگر این تغییرات خیلی سریع باشد اینرسی قاب مانع از این می‌شود که قاب تغییرات شدت را پیروی کند در نتیجه قاب بی حرکت می‌ماند. برای اندازه گیری اختلاف پتانسیل یا شدت جریان متناوب باید تخت جریان را به وسیله يك سوکننده‌های ویژه‌ای که در خود ولت سنج یا آمپر سنج نصب می‌شوند يكسو کرد و سپس اندازه گرفت.

(8-13) بلی، عبور جریان از سیم بیج واقع در میدان مغناطیسی سبب می‌شود که بر دوش سطح قاب يك جفت نیرو وارد شود و سبب چرخش آن گردد.

(8-14) اگر اختلاف پتانسیل و شدت جریان در مدار اولیه به ترتیب  $V_1$  و  $I_1$  و در مدار ثانویه  $V_2$  و  $I_2$  باشد طبق رابطه (8-10) داریم:

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{V_2}{V_1} = \frac{\text{تعداد حلقه‌های مدار دومی}}{\text{تعداد حلقه‌های مدار اولی}} \quad \text{یا} \quad V_1 I_1 = V_2 I_2$$

## ماهیت ماده-الکترونها

اغلب اتفاق می افتد که هنگام قطع کلید برق در جای اتصال کلید جرقه بزند. جرقه، در واقع جریان الکتریسته است که در زمان خیلی کوتاهی در هوا برقرار می شود و با تولید نور همراه است. هوای خشک در فشار معمولی دارای مقاومت الکتریکی بسیار زیاد است و به همین جهت برای تولید جرقه میان دو نقطه در هوا، اختلاف پتانسیل بسیار زیاد لازم است. مثلاً بیش از ده هزار ولت اختلاف پتانسیل لازم است تا میان دو الکترون دو که یک سانتیمتر از هم فاصله دارند در هوا جرقه تولید شود یا به عبارت دیگر تخلیه الکتریکی صورت بگیرد. برقی که میان دو ابرباردار یا بین ابر و زمین به صورت صاعقه جستن می کند در واقع جرقه بسیار بزرگی است که میلیونها ولت اختلاف پتانسیل، سبب تولید آن می شود.

عبور الکتریسته از یک گاز، تخلیه الکتریکی نامیده می شود. گرچه در فشار اتمسفر، اختلاف پتانسیل زیادی لازم است تا بین دو نقطه در گاز تخلیه الکتریکی صورت بگیرد ولی اگر فشار گاز کم باشد اختلاف پتانسیل لازم برای عمل تخلیه الکتریکی نیز کم می شود.

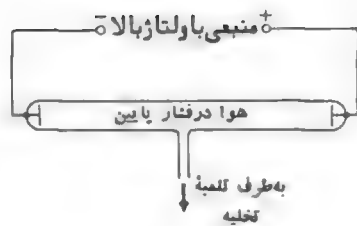
تخلیه الکتریکی در گازها با پدیده های فیزیکی جالبی همراه است و بررسی همین پدیده ها منجر به کشف الکترون شده است. شما در این بخش با پاره ای از این پدیده ها آشنا خواهید شد.

**پدیده های حاصل از تخلیه الکتریکی در لوله محتوی هوا**

عبور الکتریسته از هوا در فشارهای مختلف را می توان توسط یک لوله شیشه ای به طول ۱۵ سانتیمتر یا بیشتر که متصل به پمپ تخلیه هوا بوده و دو الکترون فلزی در دو انتهای آن قرار دارد (شکل ۹-۱) بررسی کرد. برای این منظور باید اختلاف پتانسیل یک طرفه ای در حدود ۱۰۰۰ ولت یا بیشتر بین دو الکترون برقرار شود. شکل ۹-۲ مناظر مختلف حاصل از تخلیه الکتریکی را درون

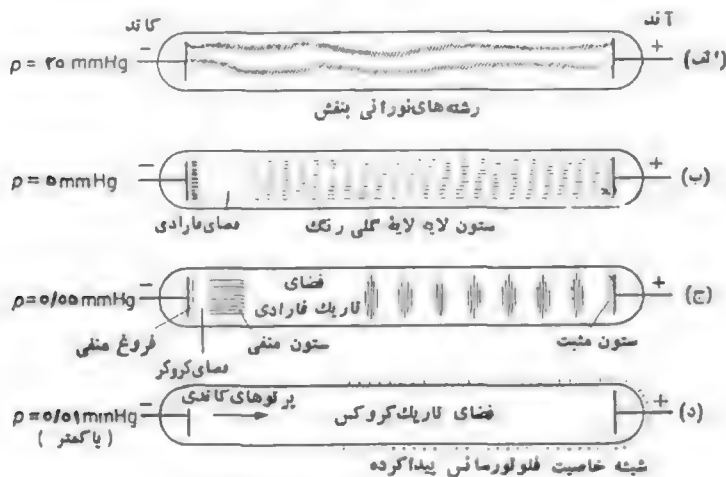
به رنگ گلی درمی آید که فاصله بین دو الکترود را پر می کند.

وقتی که فشار هوای درون لوله به ۵ میلیمتر جیوه رسید فضای تاریکی در نزدیکی کاتد ظاهر می شود که آن را فضای تاریک فارادی نامیده اند و ستون نورانی توسط این فضا به دو قسمت تقسیم می شود: یک قسمت ستون لایه لایه گلی رنگی به نام «ستون مثبت» که به آند منتهی می شود و قسمت دیگر ستون کوتاهی به نام ستون منفی که آبی رنگ بوده و مجاور کاتد تشکیل می گردد. به تدریج که فشار هوای درون لوله پایین می آید طول فضای فارادی و همچنین طول ستون منفی افزایش می یابد ولی ستون مثبت به طرف آند رانده می شود و لایه ها از هم بیشتر جدا می گردند و کم کم فضای تاریک دیگری به نام «فضای تاریک کروکس» نزدیک کاتد ظاهر می شود.



شکل ۱-۴ - لوله تخلیه الکتریکی

هوا در فشارهای مختلف نشان می دهد: پس از آن که پمپ به کار افتاد آثار نورانی حاصل از تخلیه الکتریکی نخست در الکترودها ظاهر می شود و عمین که فشار هوای درون لوله به حدود ۲۰ میلیمتر جیوه رسید (توجه داشته باشید فشار استاندارد هوا ۷۶۰ میلیمتر جیوه است) بین دو الکترود یک یا چند رشته نورانی موجی شکل به رنگ بنفش پدید می آید. با ادامه کاهش فشار، این رشته ها به تدریج عریض شده و به شکل ستون نورانی لایه لایه ای



شکل ۲-۴ - تخلیه الکتریکی درون هوا در فشارهای کم

۱- Sir William Crookes (۱۸۳۲-۱۹۱۹ م) فیزیک دان و شیمی دان انگلیسی که عنصر تالیم

را نیز کشف کرده است.

باید دانست که طول فضاهای تاریک نارادی و کروکس فقط به فشار هوای درون لوله بستگی داشته و هیچ ارتباطی با طول لوله ندارند. بنابراین، وقتی که لوله خیلی دراز باشد زیادی طول لوله توسط ستون مثبت اشغال می‌شود.

اگر کاهش فشار هوای درون لوله ادامه یابد فضای کروکس نیز به تدریج بزرگ می‌شود. وقتی که فشار به  $0.01$  میلیمتر جیوه رسید ستونهای مثبت و منفی از بین می‌روند و فضای تاریک کروکس تمام لوله را اشغال می‌کند. در این حالت جدار شیشه‌ای لوله به رنگ سبز در می‌آید و می‌گویند شیشه خاصیت فلونودسانی<sup>۱</sup> پیدا کرده است.

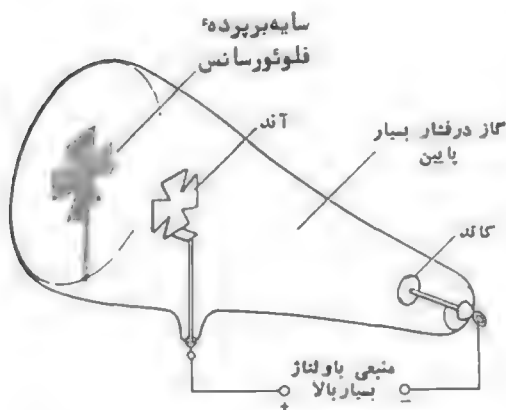
عمل تخلیه الکتریکی در گازهای دیگر نیز مانند هوا صورت می‌گیرد فقط رنگ نور حاصل از آنها متفاوت است و بستگی به جنس گاز و نوع موادی دارد که در ساختن لوله شیشه‌ای به کار رفته‌اند. مثلاً لوله شیشه‌ای معدولی محتوی گاز نئون به رنگ قرمز مایل به نارنجی و لوله شیشه‌ای اورانیم دار محتوی بخار جیوه به رنگ سبز در می‌آید. چراغهای لوله‌ای شکل رنگین که در نوشتن تابلوهای مغازه‌ها و تبلیغات تجارتي به کار می‌روند از نوع همین لوله‌های تخلیه الکتریکی محتوی گازهای مختلف هستند که فشار گاز درون آنها در حدود پنج میلیمتر جیوه است.

پس از پیدایش فضای تاریک کروکس، این پرسش پیش آمده که در این فضا چه چیز وجود دارد؟

برای پیدا کردن پاسخ این پرسش؛ در اواخر قرن نوزدهم میلادی تحقیقات زیادی توسط دانشمندان انجام گرفت. لوله‌های تخلیه مختلفی ساخته شد که در آنها فضای کروکس تمام فاصله بین الکترودها را اشغال می‌کرد و قطعات کوچکی از بعضی از مواد معدنی در این لوله‌ها قرار داده شد و مشاهده شد که این مواد خاصیت فلونورسانس پیدا می‌کنند و با رنگهای خاصی می‌درخشند. نمونه‌ای از این خاصیت را در خود شیشه که به رنگ سبز در می‌آید در بالا بیان کردیم.

در سال ۱۸۵۹ میلادی ژولیوس پلوکر<sup>۲</sup> ریاضیدان و فیزیکدان آلمانی لوله مخصوصی طرح-ریزی کرد که آن از جنس آلومینیم و به شکل صلیب ساخته شده بود (شکل ۳-۹).

فشار هوای درون این لوله  $0.01$  میلیمتر



شکل ۳-۹- پرتوهای کاتدیک به خط راست منتشر می‌شوند

۱- Fluorescence، این نامگذاری به این جهت است که محلول ماده شیمیایی به نام فلونورستین

وقتی در معرض تابش نور قرار گیرد خود به خود نورانی می‌شود و به رنگ سبزیایی در می‌آید.

۲- Julius Plücker (۱۸۶۸-۱۸۵۱ م) استاد دانشگاه بن



این آزمایشها که منجر به شناسایی الکترونها شدند می‌پردازیم.

۱- پرتوهای کاتدیک حامل انرژی هستند در شکل ۹-۴ يك لولهٔ کروكس نمایش داده شده است که درون آن، روی دو ریل موازی، يك چرخ پره‌دار سبك که پره‌های آن از جنس میکست قرار داده شده است. الکترونها طوری در لوله نصب شده‌اند که پرتوهای

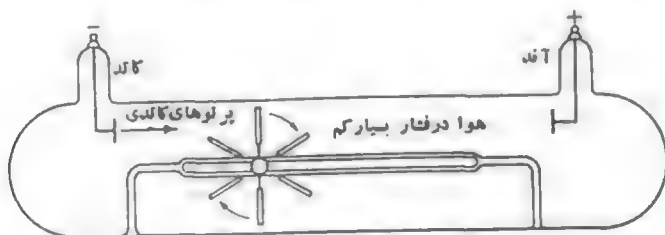
کاتدیک فقط به پره‌های بالای محور چرخ برخورد می‌کنند. هنگامی که در لوله عمل تخلیهٔ الکتریکی صورت می‌گیرد، چرخ پره‌دار می‌چرخد و به طرف آند می‌رود. ظاهراً به نظر می‌رسد که پره‌های چرخ در اثر برخورد پرتوهای کاتدیک به عقب رانده می‌شوند، ولی در واقع تابش مستقیم این پرتوها سبب حرکت چرخ نمی‌شود بلکه چرخ در اثر يك پدیدهٔ ثانوی می‌چرخد به این معنی که وقتی پرتوهای کاتدیک به پره‌های چرخ برخورد می‌کنند انرژی آنها به انرژی گرمایی تبدیل می‌شود، در نتیجه دمای سطح پره‌ها بالا می‌رود، مولکولهای گاز درون لوله وقتی که با سطح گرم پره‌های چرخ تماس پیدا می‌کنند گرم می‌شوند و با سرعت بیشتری به عقب برمی‌گردند و نیروی عکس‌العمل حاصل از این برگشت، سبب چرخیدن چرخ می‌شود. شکل ۹-۵ تصویر

جیوه بود و فضای کروكس همه جای درون لوله را فرا می‌گرفت. مشاهده شد که هنگام تخلیهٔ الکتریکی سایهٔ واضحی از صلیب بر روی جدار انتهایی لوله تشکیل می‌گردد. تشکیل چنین سایه‌ای نشان می‌داد که پرتوهایی نامرئی از کاتد به خط راست منتشر می‌شوند که از صلیب آلومینیومی نمی‌توانند بگذرند، به همین جهت، سایهٔ آن روی جدار مقابل تشکیل می‌شود.

با مشاهدهٔ این پدیده‌ها در آن زمان پرسش دیگری مطرح شد که: جنس این پرتوها از چیست؟ عده‌ای از دانشمندان این پرتوها را از جنس امواج نورانی دانستند، ولی بیشتر جوابها در این زمینه بود که این پرتوها جریانی از ذرات بسیار ریز هستند که از کاتدکنده شده با سرعت زیاد پرتاب می‌شوند ولی نمی‌توانند از مواد جامد بگذرند. امروزه ما این پرتوها را به نام پرتوهای کاتدیک می‌شناسیم.

## جنس پرتوهای کاتدیک

در سالهای آخر قرن نوزدهم ضمن آزمایشهای متعددی معلوم شد که پرتوهای کاتدیک جریانی از «ذرات الکتریسته منفی» هستند که ما اکنون آنها را الکترون می‌نامیم. اینک به شرح چند نمونه از

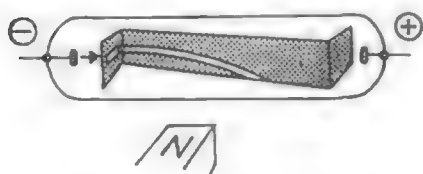


شکل ۹-۴- چرخ پره‌دار درون لولهٔ کروكس



شکل ۵-۹

پرتوهای کاتدیک پس از خروج از کاتد از يك شكاف افقی می گذرند و به صورت دسته پرتو موازی درمی آیند که مسیرشان بر روی این صفحه کاملاً مشخص است، زیرا، سولفید روی در مسیر دسته پرتوهای کاتدیک خاصیت فلونورسانس پیدا می کند و به رنگ سبز درمی آید. حال اگر تیغه آهن ربایی در راستای عمود بر لوله به آن نزدیک شود دسته پرتو کاتدیک از مسیر افقی اولیه خود منحرف می شود. مثلاً اگر قطب N آهن ربا به شیشه نزدیک شود دسته پرتو کاتدیک، مطابق شکل، رو به پایین منحرف می گردد.



شکل ۶-۹- پرتوهای کاتدیک در میدان مغناطیسی منحرف می شوند

این آزمایش دلیل قانع کننده ای برای رد کردن

وافتی از این اسباب را نشان می دهد.

**پرش ۱-۹- آیا می توانید براساس قانون «دوم نیوتن» این پدیده را توجیه کنید؟**

**پرش ۲-۹- اگر پرتوهای شعله کاتدیک از جنس الکترون هستند پس چرا الکترونها نمی توانند در اثر ضربه مستقیم چرخ را به حرکت در آورند؟**

**پرش ۳-۹- آیا با این آزمایش می توان مطمئن شد که پرتوهای کاتدیک از ذرات ریز تشکیل یافته اند؟**

**۲- انحراف پرتوهای کاتدیک در میدان مغناطیسی-**

گفتم که مسیر پرتوهای کاتدیک در لوله کروکی معمولی دیده نمی شود تا بتوان انحراف این پرتوها را به راحتی در میدان مغناطیسی دید، به همین جهت، برای مشخص کردن مسیر آنها، يك صفحه که با لایه نازکی از سولفید روی پوشیده شده است (طبق شکل ۶-۹) بین آندوکاتد طوری قرار داده می شود که با خط واصل میان آندوکاتد زاویه کوچکی بسازد.

این لوله، آند نیز يك لوله آلومینیومی است که هردو سر آن باز است و در مقابل آن استوانه فلزی به نام استوانه فارادی قرار دارد که در دهانه آن سوراخ کوچکی است. این استوانه به الکتروسکوپ در بیرون لوله کروکس متصل است (مطابق شکل ۷-۹). با پرتوهای کاتدیک پس از خروج از کاند وارد استوانه فارادی می گردند و الکتروسکوپ باردار می شود و با امتحان الکتروسکوپ باردار شده توسط يك میله ایزولیت باردار، معلوم می شود که الکتروسکوپ دارای بار منفی است.

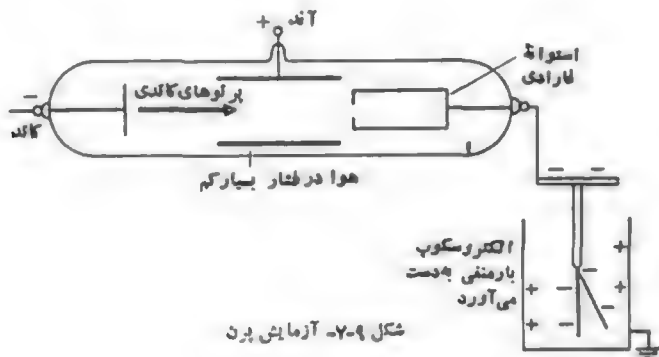
بین سالهای ۱۸۹۵ و ۱۹۰۵ میلادی، تامسون؟ پس از يك رشته آزمایش، نسبت بین بار الکتریکی  $e$  و جرم  $m$  (یعنی  $\frac{e}{m}$ ) الکترونها (یعنی ذرات بار-داری که پرتوهای کاتدیک را تشکیل می دهند) و همچنین سرعت حرکت آنها را بین دو الکترودمعین کرد. سپس در سال ۱۹۰۹ میلادی میلیکان<sup>۳</sup> فیزیکدان امریکایی با آزمایشهای دقیق خود بار الکتریکی  $e$  را حساب کرد و در نتیجه جرم الکترون نیز معین

نظر کسانی بود که پرتوهای کاتدیک را از جنس نور می پنداشتند زیرا تا به امروز کسی نتوانسته است نور را در میدان مغناطیسی از مسیر خود منحرف کند.

**پرسش ۴-۹** - اگر جهت جریان رادرون لوله، طبق قرارداد (بر خلاف جهت حرکت الکترونها) از آند به کاتد بگیرد چگونه با دستور دست چپ فلمینگ، جهت انحراف پرتوهای کاتدیک را مشخص می کنید؟

**پرسش ۵-۹** - اگر قطب S آهن ربا را به لوله کروکس نزدیک کنید پرتوها چگونه منحرف می شوند؟

**۳- پرتوهای کاتدیک حامل بار الکتریکی هستند.** ژان پرن<sup>۱</sup> استاد دانشگاه پاریس با تغییری که در ساختمان لوله کروکس داد توانست نشان دهد که پرتوهای کاتدیک حامل بار الکتریکی منفی هستند. در



۱- Jean Perrin (۱۸۲۲-۱۹۲۱ م) فیزیکدان فرانسوی.

۲- J. J. Thomson (۱۸۵۶-۱۹۴۰ م) فیزیکدان انگلیسی.

۳- Robert Millikan (۱۸۶۸-۱۹۵۳ م)

شد. طبق اندازه گیریهای جدید، بار الکتریکی الکترون  $1.6 \times 10^{-19} = e$  کولن و جرم آن  $9.1 \times 10^{-31} = m$  کیلوگرم تعیین شده است.

### کشف پرتوهای X

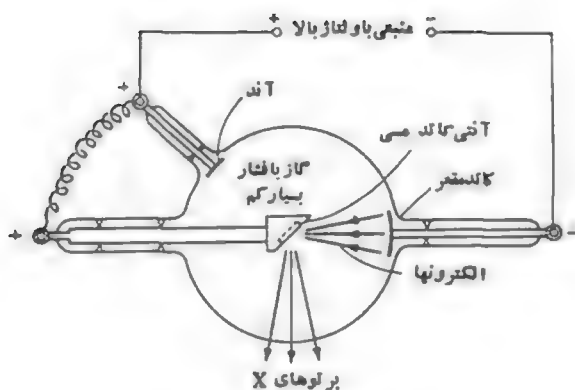
در سال ۱۸۹۵ میلادی ویلهلم رونتگن<sup>۱</sup> فیزیکدان آلمانی متوجه این نکته شد که بلورهای ماده پلاتینوسیانید باریم در مجاورت لوله مولد پرتوهای کاتدیک، هنگامی که لوله کار می کند، اگر روی لوله هم پوشیده باشد خاصیت فلونورسانس پیدا می کنند و می درخشند. رونتگن همچنین مشاهده کرد که صفحه های عکاسی لفافه دار نیز در مجاورت لوله مولد پرتوهای کاتدیک، به هنگام کار، متأثر شده و تیره می گردند. چنین به نظر می رسید که پرتوهایی نامرئی، برخلاف پرتوهای کاتدیک، مستقیماً از لوله خارج شده و از موادی که در برابر نور معمولی کدر هستند نیز می گذرند، رونتگن متوجه شد که این پرتوها از آن قسمت از جدار شیشه ای لوله که در معرض تابش پرتوهای کاتدیک قرار گرفته و خاصیت فلونورسانس پیدا می کند تولید می شوند و آنها را پرتوهای X نامید. پرتوهای X را به انتخاب کاشف آن پرتوهای دوتنگن نیز می نامند.

پرش ۹-۶- در لامپ تصویر تلویزیون نیز پرتوهای کاتدیک از یک کاتد ملتهب تولید شده و بر صفحه شیشه ای که تصویر روی آن تشکیل می شود می تابند. آیا به نظر شما از این صفحه «پرتوهای X» نیز تولید می شود؟ رونتگن متوجه شد که اگر یک صفحه متوای

آغشته به پلاتینوسیانید باریم در مسیر تابش این پرتوها قرار گیرد نورانی می شود. او دست خود را بین لوله مولد «پرتو X» و صفحه نامبرده قرارداد و مشاهده کرد که سایه واضحی از استخوانهای دست بر روی صفحه تشکیل می شود. علت تشکیل چنین سایه ای این است که استخوانها در مقابل عبور پرتو-های X کدرتر از گوشت هستند.

ضمن بررسی خواص «پرتوهای X» معلوم شد که این پرتوها برخلاف پرتوهای کاتدیک در میدان مغناطیسی یا الکتریکی منحرف نمی شوند، بنابراین از جنس ذرات باردار نیستند. امروزه ما می دانیم که «پرتوهای X» از جنس فوتون هستند با این تفاوت که طول موج آنها خیلی کوتاهتر از طول موج نور مرئی است.

**تولید پرتوهای X** - پس از کشف پرتوهای X، تحقیقات بعدی که درباره طرز تولید آنها به عمل آمد نشان داد که هرگاه الکترونهای خیلی سریع ضمن حرکت به هدفی برخورد کرده و متوقف شوند «پرتوهای X» تولید می شود. براساس این پدیده نخستین لوله های مولد «پرتو X» ساخته شد. لوله های قدیمی مولد «پرتو X» دو واقع همان لوله های مولد پرتوهای کاتدیک هستند که در آنها تغییراتی داده شده است و می توان آنها را لوله های مولد «پرتو X» با کاتد مرد نامید. در این لوله ها پرتوهای کاتدیک (یعنی الکترونها) از کاتدی که سطح آن مقعر است بر روی قرصی از جنس تنگستن<sup>۲</sup> به نام آنتی کاتد می تابند (شکل ۹-۸) و ذرات برخورد الکترونها



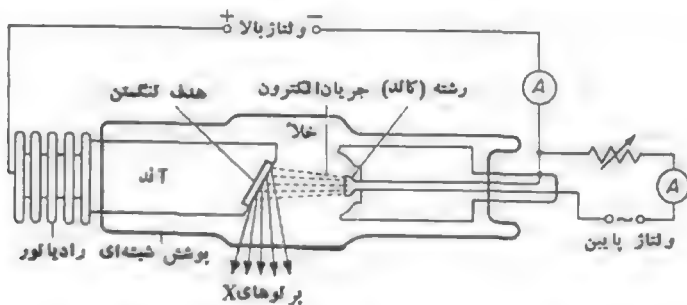
شکل ۸-۹- لوله مولد پرتو X با کاتد سرد

به این قرص «پرتوهای X» تولید می‌شوند. قرص

آنتی کاتد در انتهای يك میله مسی نصب شده است و میله مسی به این منظور به کار می‌رود تا گرمایی را که در اثر برخورد الکترونها به سطح آنتی کاتد تولید می‌شود به خارج لوله انتقال دهد.

**پرسش ۹-۷-** قرص آنتی کاتد را طوری نصب می‌کنند که طبق شکل ۸-۹، با مسیر پرتوهای کاتدیک، زاویه‌ای بسازد. آیا می‌توانید علت را

**لوله‌های جدید مولد پرتو X-** در این لوله‌ها که به خوبی از هوا تخلیه می‌شوند الکترونها (پرتوهای کاتدیک) از يك رشته سیم تنگستن که در اثر عبور جریان برق ملتهب می‌شود خارج می‌گردند. رشته سیم توسط استوانه فلزی کوتاهی احاطه شده است (شکل ۹-۸) و کار استوانه فلزی



شکل ۹-۸- لوله جدید مولد پرتو X با کاتد ملتهب

۱- پدیده خروج الکترون از یک جسم ملتهب را پدیده ترمیونیکی می‌نامند و چون این پدیده نخستین بار توسط ادیسون، دانشمند و مخترع امریکایی، کشف شد آن را «اثر ادیسون» نیز نامیده‌اند. این اثر را در همین بخش خواهید دید.

این است که مانند يك آینهٔ مقعر، پرتوهای کاتدیک را روی آنتی کاتد متمرکز کند. الکترونهايي که از رشتهٔ ملتهب خارج می‌شوند در اثر اختلاف پتانسیل خیلی زیادی که بین کاتد و آنتی کاتد برقرار است سرعت می‌گیرند و هرچه این اختلاف پتانسیل زیادتر باشد سرعت الکترونها بیشتر می‌شود و در نتیجه، طول موج «پرتوهای X» حاصل کوتاهتر و قدرت نفوذ آنها در اجسام افزونتر می‌گردد.

«پرتوهای X» را به دو دسته نرم و سخت تقسیم کرده‌اند «پرتوهای X نرم» فقط در مواد نرم مانند گوشت نفوذ می‌کنند، این دسته پرتوها طول موج بلندتری دارند و باولتاژ کمتری (مثلاً در حدود ۱۵۰۰۰ ولت) تولید می‌شوند، «پرتوهای X سخت»

قدرت نفوذ بیشتری دارند و از مواد جامد هم می‌گذرند. این پرتوها دارای طول موج خیلی کوتاه هستند. و با ولتاژ خیلی زیاد (حتی چند میلیون ولت) تولید می‌گردند.

شدت «پرتوهای X» متناسب با تعداد الکترونهايي است که در واحد زمان به آنتی کاتد می‌تابد و این خود بستگی به دمای رشته سیم ملتهب و در نتیجه بستگی به شدت جریانی دارد که از این رشته می‌گذرد. بنابراین به کمک يك رنوستا قابل تنظیم و کنترل است.

موارد کاربرد «پرتوهای X» - از «پرتوهای X» هم در پزشکی و هم در صنعت، زیاد استفاده می‌-



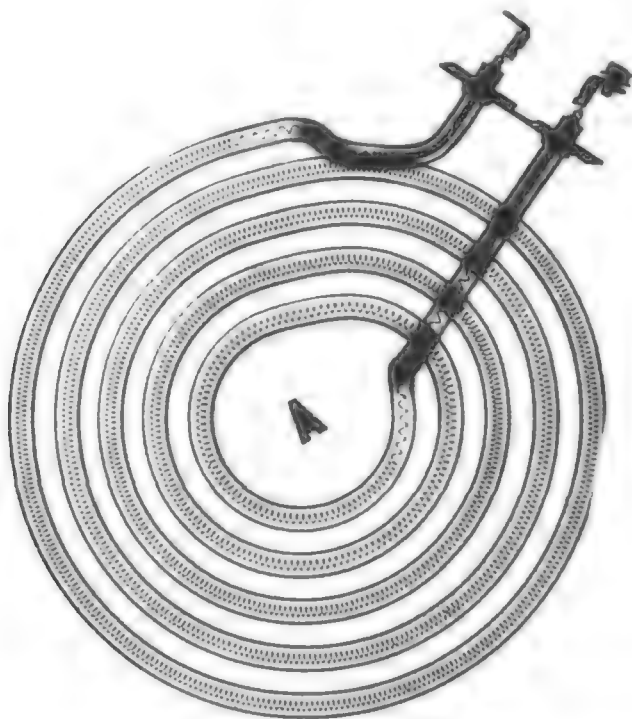
شکل ۹-۱۵- عکسی که به وسیلهٔ پرتوهای X در سال ۱۸۹۶ میلادی گرفته شده است.

سلولهای سالم نیز اثرهای بدی دارند و این اثرها ممکن است بعد از گذشت چند سال ظاهر شوند. بیش از آن که اثرهای نامطلوب پرتوهای X شناخته شود تعدادی از کسانی که با این پرتوها کار کرده اند به سختی مریض شده اند وعده ای هم جان خود را از دست داده اند. امروزه برای جلوگیری از چنین خطری لوله های مولد «پرتو X» را در محفظه های سربی قرار می دهند تا از پخش شدن این پرتوها به اطراف جلوگیری شود. زیرا سرب این پرتوها را جذب می کند.

در صنعت از «پرتوهای X» برای تشخیص شکستهای ریزی که ممکن است احتمالا درون قطعات

شود. در پزشکی عملی از پرتوهای X برای عکسبرداری از اعضای درونی بدن استفاده می شود. عکسبرداری با این پرتوها را «پرتو نگاری» می گویند. دردستگاههای پرتونگاری پرتوهای X را از آن قسمت بدن که مورد نظر است می گذرانند و سپس بر روی فیلم عکسی می تابانند. شکل ۹-۱۵ عکس استخوانهای دست را که به وسیله پرتونگاری به دست آمده است نشان می دهد.

در بیمارستانها «پرتوهای X» را برای معالجه غده های سرطانی و جلوگیری از پیشرفت آنها به کار می برند، زیرا سلولهای سرطانی در اثر تابش «پرتوهای X» از بین می روند. این پرتوها بر روی



شکل ۹-۱۱- عکس سیم پنج درون يك آب گرم کن الکتریکی که با «پرتوهای X» گرفته شده است.



شکل ۱۳-۹- پرتونگاری با پرتوهای X از يك اثر هنری این عکس نشان می‌دهد که در قسمت سر تا بلوی نقاشی تغییراتی داده شده است.

لامپ الکتریکی که در مقابل رشته ملتهب آن يك صفحه كوچك فلزی قرار داده بود (شکل ۹-۱۳) متوجه شد که اگر بین صفحه ورشته توسط يك باتری اختلاف پتانسیلی برقرار شود به طوری که پتانسیل صفحه نسبت به رشته مثبت باشد میلی آمپر سنجی که به دنبال باتری در مدار قرار دارد جریان ضعیفی را نشان می‌دهد برعکس اگر پتانسیل صفحه نسبت به رشته منفی باشد میلی آمپر سنج عبور جریانی را نشان نمی‌دهد.

این پدیده که در آن زمان اثر ادیسون نامیده شد چندین سال حس کنجکاوی دانشمندان را درباره کشف علت آن برانگیخت تا این که در اوایل قرن

فلزی ساخته شده برای ماشینها یا در محل جوش قطعات به یکدیگر موجود باشد استفاده می‌شود.

شکل (۹-۱۱) عکس سیم پیچ درون يك آب گرم كن الکتریکی را نشان می‌دهد که با پرتوهای X گرفته شده است. در شکل دیده می‌شود که سیم پیچ به طور یکنواخت پیچیده شده است و در آن ضایعه‌ای دیده نمی‌شود. این نوع کنترل برای آن است که از بی‌عیب بودن اسباب اطمینان حاصل شود، زیرا يك عیب یا يك ضایعه موضعی در اسباب ممکن است سبب بالا رفتن دما در محل ضایعه و ذوب شدن سیم و قطع مدار شود.

بیشتر ابزارهای الکتریکی، پس از ساخته شدن، در قسمت بازرسی کارخانه بدین طریق مورد آزمایش نهایی قرار می‌گیرند تا از بروز هر گونه پیشامد و زیان احتمالی جلوگیری شود.

پرتوهای X را می‌توان برای تشخیص تغییراتی که در کارهای هنری مانند تابلوهای نقاشی به عمل آمده است نیز به کار برد. موفقیت در این فن بر اساس این خاصیت است که رنگهای نقاشی قدیمی که در آنها ترکیبات سربی به کار رفته است بیشتر از رنگهایی که از ترکیبات عناصر سبک تشکیل یافته‌اند پرتوهای X را جذب می‌نمایند. شکل ۹-۱۲ عکس جالبی از يك تابلوی نقاشی قدیمی را نشان می‌دهد که به وسیله «پرتونگاری» به دست آمده است. این عکس نشان می‌دهد که در قسمت سر تصویر تغییراتی داده شده است.

### اثر ادیسون - پدیده ترمیونیك

در سال ۱۸۸۳ میلادی، توماس ادیسون دانشمند و مخترع آمریکایی به هنگام آزمایش با يك

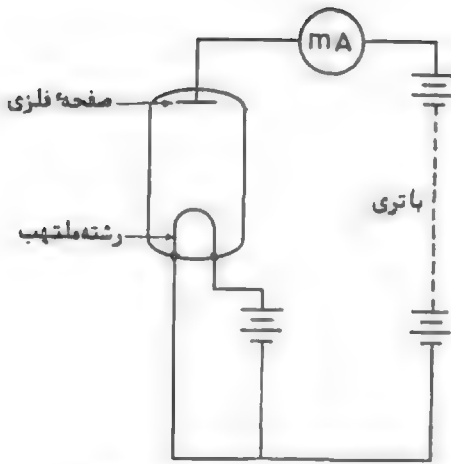


بیستم میلادی ریچاردسون<sup>۱</sup> که استاد فیزیک یکی از دانشگاههای امریکا بود درباره انتشار الکترون از اجسام داغ شروع به تحقیق کرد و اثر ادیسون را چنین توجیه نمود:

وقتی رشته فلزی درون لامپ ملتهب می شود الکترونها از آن خارج می گردند، همچنان که، مولکولهای بخار از مایع داغ خارج می شوند. بنابراین در زمان بسیاد کوتاهی اطراف رشته ملتهب توسط الکترونها اشغال می شود و لحظه ای فرا می رسد که فضای اطراف رشته از الکترونهای آزاد اشباع می شود به این معنی که تعداد الکترونهايي که از رشته ملتهب خارج می شوند با تعداد الکترونهايي که دوباره به آن برمی گردند برابر می شود.

همین پدیده درون لامپ ادیسون نیز اتفاق می افتد: وقتی که صفحه مقابل رشته ملتهب به پتانسیل مثبت وصل می شود الکترونها را که بار منفی دارند به سوی خود می کشد و در مدار صفحه جریان برقرار می گردد و اگر این صفحه به قطب منفی باتری متصل شود به طوری که پتانسیل آن منفی گردد الکترونها از آن رانده می شوند و جریان الکتریسیته در مدار صفحه قطع می شود.

پدیده خروج الکترون از یک سیم فلزی ملتهب، یا به طور کلی از یک جسم داغ را انتشار ترمویونیک نامیده اند و هر چه دمای سیم یا جسم بیشتر باشد تعداد الکترونهايي که در زمان معین از آن خارج می شوند بیشتر است



شکل ۹-۱۳ طرح ساده ای برای نمایش اثر ادیسون

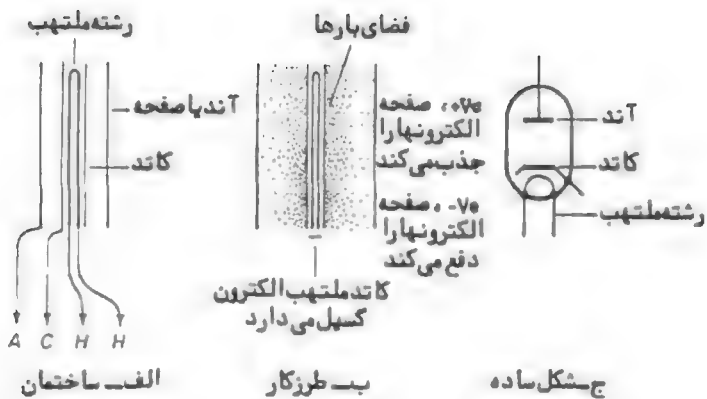
**لامپ دوقطبی** - در سال ۱۹۰۴ میلادی فلیمنگ<sup>۲</sup> پدیده انتشار ترمویونیک را در یک لامپ دوقطبی به نام دیود<sup>۳</sup> که به صورت لامپ آشکارساز در رادیو و تلویزیون به کار می رود عملاً مورد استفاده قرار داد. در این دیود، رشته ملتهب یا کاتد داغ توسط آند استوانه ای شکلی احاطه شده بود و این مجموعه درون یک حباب شیشه ای خالی از هوا قرار داشت. بعدها برای افزایش میزان انتشار الکترون

از رشته، در ساختمان آن از اکسید توریم استفاده شد. در دیودهای جدید، کاتد از یک استوانه نیکلی ساخته می شود که روی آن بالایه ای از مخلوط اکسید باریم و اکسید استرونیوم پوشیده شده است. این کاتد توسط یک رشته مستقل به طور غیر مستقیم گرم

۱- O. W. Richardson استاد فیزیک در دانشگاه Princeton امریکا.

۲- J. A. Fleming

۳- Diode



شکل ۹-۱۴ - دیود ترموبونیک

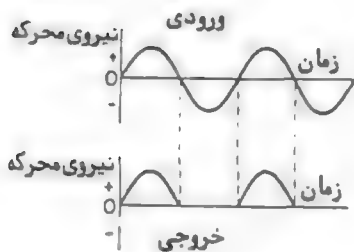
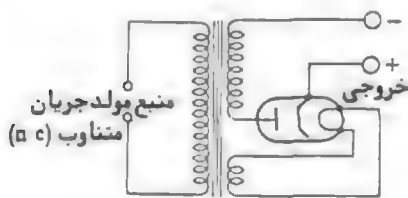
می‌شود. آند این نوع دیودها استوانه نیکلی است که اطراف کاتد را فرا می‌گیرد و تمام این اجزادرون حباب شیشه‌ای خالی از هوا قرار دارد و ارتباط این اجزا با خارج توسط چهار پایه سوزنی شکل صورت می‌گیرد (شکل ۹-۱۲)

دوقطبی می‌توان چنین توجیه کرد: در نیم‌پریود اول، که آند مثبت است، الکترون‌ها از فضای بین کاتد و آند به سوی آند کشیده می‌شوند و جریان در مدار آند برقرار می‌گردد. ولی در نیم پریود دوم که آند منفی است الکترون‌ها از آن رانده

استفاده از لامپ دوقطبی برای یک سو کردن جریان متناوب - یکی از موارد مهم کاربرد لامپ دوقطبی، یک سو کردن جریان متناوب است. این کار با استفاده از مداری مطابق شکل ۹-۱۵ صورت می‌گیرد.

آند لامپ، مطابق شکل، به یک سردارثانویه ترانسفورماتوری که دوسرمدار اولیه آن به جریان برق متناوب متصل است وصل می‌شود. این ترانسفورماتور بر حسب ولتاژ مورد نیاز، ممکن است افزایشده یا کاهشده باشد. جریان یک سو شده از سردارثانویه و سیم متصل به کاتد گرفته می‌شود. برای گرم کردن رشته از یک سیم بیج فرعی ترانسفورماتور که ولتاژ دوسر آن کم است استفاده می‌شود.

علت یک سو شدن جریان متناوب را در لامپ



شکل ۹-۱۵ - استفاده از لامپ دوقطبی برای یک سو کردن جریان به صورت نیم موج.

۱- **توپ الکترونی** - متشکل از يك كاتد داغ برای بخش الكترون، که در مقابل آن يك سری آند به شکل حلقه و استوانه قرار داده شده است. پتانسیل آند نسبت به کاتد مثبت و خیلی زیاد است.

این مجموعه، هم به الكترونها شتاب می- دهد و هم آنها را به صورت يك دسته پرتو باریک درمی آورد.

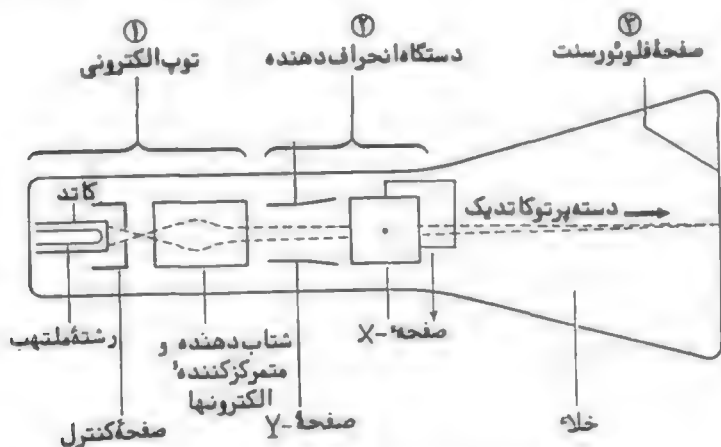
۲- **دستگاه انحراف دهنده**، که می تواند دسته پرتو کاتدیک را در راستاهای افقی و قائم منحرف کند و ازدوجت صفحه فلزی موازی تشکیل یافته است؛ يك جفت صفحه افقی به نام صفحه های Y که دسته پرتو کاتدیک را در راستای قائم جا به جا می کند و يك جفت صفحه قائم به نام « صفحه های X » که دسته پرتو را در امتداد افقی تغییر مکان می دهد.

فاصله هر دو صفحه موازی از یکدیگر به

می شوند و جریان در مدار آند قطع می شود. این نوع يك سوشدن جریان را يك سوشدن نیم موجی گویند برای این که جریان به صورت تمام موج يك سوشود از دودیود جداگانه یا از يك دیود مضاعف که دارای دو آند مستقل است استفاده می شود.

## نوسان نگار کاتدی

نوسان نگار (اسیلوگراف) کاتدی اسبابی است که برای بررسی جریانها و ولتاژهای موجی- شکل در مدارهای الکتریکی مختلف به کار می رود. به همین جهت، در کنترل وسایل الکترونیکی و رادیو و تلویزیون از آن استفاده می شود. مهمترین قسمت يك نوسان نگار کاتدی، لامپ مولد پرتوهای کاتدیک است و آن يك لامپ خالی از هواست که درون آن سه دستگاه اساسی به شرح زیر تعبیه شده است (شکل ۹-۱۶):



شکل ۹-۱۶ - لوله مولد پرتوهای کاتدیک مهمترین قسمت يك نوسان نگار کاتدی

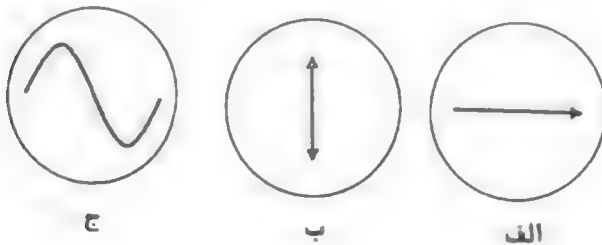
اندازه مناسبی انتخاب شده است به طوری که وقتی دسته پرتو کاتدیک از میان آنها می‌گذرد به اندازه کافی منحرف می‌شود.

۳- صفحه فلونورسنت، که در انتهای لامپ، جایی که دسته پرتو کاتدیک به جدار لامپ برخورد می‌کند قرار دارد. در اثر تابش این دسته پرتو بر صفحه فلونورسنت، یک لکه بسیار کوچک نورانی به رنگ سبز به وجود می‌آید. بسته به ولتاژهای متغیری که روی صفحه‌های X و Y برقرار می‌شود، این لکه روی صفحه فلونورسنت جا به جا می‌گردد و نموداری را که معرف تغییرات این ولتاژهاست ظاهر می‌سازد (شکل ۹-۱۷). مثلاً اگر اختلاف پتانسیلی روی صفحه‌های X بسته شود که به طور یکنواخت با زمان افزایش یابد تا به ماکزیمم برسد و دوباره به وضع اول برگردد و مرتباً در زمانهای مساوی این عمل تکرار شود، لکه نورانی با سرعت ثابت به طور افقی

حرکت خواهد کرد.

در صورتی که فرکانس پتانسیل کم باشد حرکت لکه را می‌توان با چشم دید و تعقیب کرد ولی اگر فرکانس زیاد باشد (مثلاً ۵۰ هرتز) حرکت لکه را دیگر نمی‌توان تعقیب کرد بلکه مسیر آن روی صفحه فلونورسنت به صورت یک خط افقی ظاهر خواهد شد که می‌توان آن را محور سنجش زمان گرفت (شکل ۹-۱۷-الف).

اگر در این حالت ولتاژ متناوب ساده‌ای بین دو صفحه Y برقرار شود لکه نورانی علاوه بر حرکت افقی، در امتداد قائم نیز نوسان خواهد کرد. این دو حرکت با هم ترکیب شده و در نتیجه، روی صفحه فلونورسنت نموداری که معرف تغییرات ولتاژ بر حسب زمان است ظاهر خواهد شد. در صورتی که پریود فرکانس ولتاژهای دو صفحه X و Y با هم برابر باشد نمودار حاصل، به شکل یک نوسان کامل یا یک موج ظاهر می‌شود (شکل ۹-۱۷-ج).



شکل ۹-۲۲- چگونه یک علامت

موجی شکل روی صفحه نوسان تکرار ظاهر می‌شود؟

الف- پتانسیل متغیر فقط روی صفحه‌های X

ب- پتانسیل متناوب فقط روی صفحه‌های Y

ج- پتانسیلهای متغیر هم پریود روی صفحه‌های X و Y

## خودتان آزمایش کنید

نمودار ویژگی يك لامپ دوقطبی را رسم کنید

نمودار تغییرات شدت جریان در مدار آند يك لامپ دوقطبی را بر حسب تغییرات اختلاف پتانسیلی که بین آند و کاتد این لامپ برقرار می شود «نمودار ویژگی» یا منحنی مشخصه لامپ دوقطبی گویند.

بنابر این اگر شدت جریان در مدار آند را به  $I_a$  و اختلاف پتانسیل بین آند و کاتد را به  $V_a$  نشان دهیم این نمودار طرز تغییر  $I_a$  را به هنگام تغییر  $V_a$  نشان می دهد که معمولاً به شکل نمودار ۹-۱۸ است.

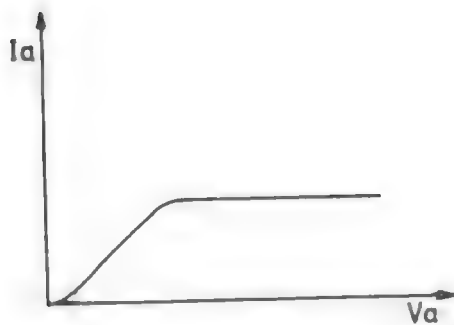
برای رسم این نمودار، لامپ دوقطبی را که در اختیار دارید مطابق شکل ۹-۱۹ در مدار قرار دهید. دقت کنید که اتصال پایه های زیر لامپ در جاهای خود به درستی انجام گیرد، زیرا اگر ولتاژ زیادی که باید روی صفحه آند بسته شود اشتباهاً به دوسر رشته که ولتاژ کمی لازم دارد برقرار شود رشته خواهد سوخت. برای جلوگیری از این اشتباه باید نخست مدار رشته را بیش از استفاده از ولتاژ زیاد ببندید و با بستن کلید، از عبور جریان از رشته مطمئن شوید و به کمک رئوسایی که در مدار رشته قرار داده اید شدت جریان را در حدی که کارخانه سازنده لامپ مشخص کرده است ثابت نگاه دارید.

پس از تکمیل مدار رشته ولتاژ بین آند و کاتد را ۱۰ ولت به ۱۰۰ ولت بالا ببرید و شدت جریان در مدار آند را روی میلی آمپر سنج بخوانید و در جدولی مانند جدول زیر یادداشت کنید.

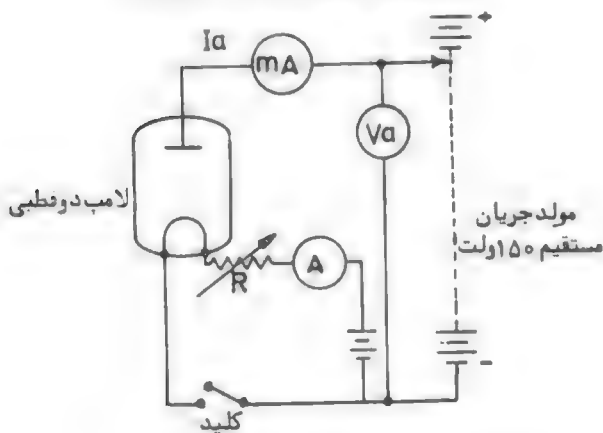
ولتاژ بین آند و کاتد (به ولت)	شدت جریان در مدار آند (به میلی آمپر)	ملاحظات

ولتاژ بین آند و کاتد را آن قدر بالا ببرید تا شدت جریان در مدار آند به بیشترین مقدار خود برسد به این معنی که اگر این ولتاژ را باز هم بالا ببرید شدت جریان در مدار آند تغییر نکند و ثابت بماند. در این حالت تمام الکترونهایی که از رشته خارج می شوند جذب آند می گردند و شدت جریان در مدار آند به حد اشباع می رسد.

با انتخاب واحد مناسب، اندازه های ولتاژ بین آند و کاتد را بر حسب ولت روی محور افقی و اندازه های شدت جریان در مدار آند را بر حسب میلی آمپر روی محور عمود بر آن ببرید و نمودار ویژگی لامپ را رسم کنید، در صورتی که لامپهای دیگری در اختیار دارید نمودار ویژگی آنها را نیز به همین طریق رسم کنید و آنها را با هم مقایسه کنید.



شكل ۹-۱۸- نمودار ویژگی لامپ ترمیونیك



شكل ۹-۱۹- مدار لامپ دوفلبی برای رسم نمودار ویژگی لامپ

نمودار ویژگی لامپ دوفلبی نشان می‌دهد که تغییرات شدت جریان با اختلاف پتانسیس در مدار آنند این لامپ تابع قانون اهم نیست زیرا اگر این تغییرات تابع قانون اهم بود نمودار به شکل خط راست درمی‌آمد.

**به این پرسشها پاسخ دهید**

- (۱) الکترون چیست و جرم آن چه نسبتی با جرم اتم هیدروژن دارد؟
- (۲) از پدیده ترمیونیك و بخش الکترون در اثر این پدیده چه می‌دانید؟
- (۳) با رسم يك شكل بزرگ، قسمتهای مختلف يك لوله مولد پرتوهای كاتدريك و تتر-

دهید.

(۴) چهار خاصیت از خواص پرتوهای کاتدیک را بیان کنید و توضیح دهید که برای نشان دادن این خاصیتها، در صورتی که لازم باشد، چه تغییراتی باید در ساختمان لوله‌های مولد پرتوهای کاتدیک داده شود.

(۵) با رسم یک شکل، لوله مولد پرتوهای کاتدیک را طرح ریزی کنید که کاتد آن یک رشته سیم ملتعب باشد. توضیح دهید که افزایش دمای رشته ملتعب، با افزایش پتانسیل آند چه اثری بر روی الکترونهايی که پرتوهای کاتدیک را تشکیل می‌دهند خواهد گذارد.

(۶) در روی صفحه کاغذ، جریان باریکی از الکترونها را مجسم کنید که از چپ به راست به طور افقی برقرار است و یک میدان مغناطیسی عمود بر صفحه کاغذ وجود دارد که قطب N آن در جلو و قطب S آن در عقب کاغذ است با رسم یک شکل، مسیر این دسته الکترونها را پس از انحراف در میدان مغناطیسی، مشخص کنید.

(۷) در نظر بگیرید که یک دسته الکترون در راستای افقی به طرف شما جلو می‌آید و ضمن عبور از یک میدان مغناطیسی یا از یک میدان الکتریکی به طرف راست منحرف می‌شود.

الف - اگر این میدان یک میدان مغناطیسی باشد در چه جهت است؟

ب - اگر این میدان یک میدان الکتریکی باشد در چه جهت است؟

(۸) شکل یک لوله مولد پرتوهای X را که کاتد آن رشته ملتعب است با مدار الکتریکی آن به دقت رسم کنید و درباره طرز کار آن توضیح دهید.

(۹) موارد کاربرد پرتوهای X را که می‌دانید بیان کنید.

(۱۰) چه عواملی بر روی طول موج پرتوهای X مؤثرند؟ چه عواملی بر روی شدت پرتوهای X مؤثرند؟

(۱۱) اگر دمای رشته لامپ دوقطبی بالا برود چه تغییری در نمودار ویژگی لامپ حاصل می‌شود؟

(۱۲) در یک لوله مولد پرتوهای کاتدیک، الکترونها با سرعت  $5/0 \times 10^7 \frac{m}{s}$  از کاتد به طرف آند در راستای افقی پرتاب می‌شوند و از یک میدان مغناطیسی قائم به شدت  $3/5 \times 10^{-2} T$  عبور می‌کنند. چه نیرویی بر هریک از این الکترونها وارد می‌شود؟ اگر به جای الکترونها، پروتونها با همین سرعت حرکت کنند نیروی وارد بر هر پروتون چه اندازه خواهد بود؟

## پاسخ به پرسشهای متن

(۱-۹) می‌دانید تغییر اندازه حرکت کل مولکولهایی که در واحد زمان به پره‌های چرخ

برخورد می کنند متناسب با نیرویی ا

$$(Ft = m\Delta v)$$

چرخ می شود.

۲-۹) زیرا جرم الکترونها ناچیز است و با وجود تعداد زیاد و سرعت زیاد، انرژی آنها کافی نیست که چرخ پره دار را بچرخاند. علاوه بر این بیشتر الکترونها جذب پره های چرخ می شوند و روی آنها متوقف می گردند، در نتیجه تغییر اندازه حرکت آنها زیاد نیست.

۳-۹) نه. زیرا انرژی، هم به وسیله امواج الکترومagnetیک و هم به وسیله ذرات ممکن است منتقل شود. این آزمایش نمی تواند مشخص کند که انرژی با کدام يك از این دو وسیله منتقل می گردد.

۴-۹) کافی است انگشت نشانه دست چپ خود را در جهت میدان مغناطیسی و انگشت میانی را در جهت جریان از آند به کاتد بگیرید، انگشت شست جهت انحراف پرتوها را نشان می دهد.

۵-۹) در خلاف جهت انحراف اولیه (که با نزدیک کردن قطب N حاصل می شود).

۶-۹) بلی، مقدار کمی پرتو X تولید می شود به همین جهت توصیه می شود که خیلی نزدیک به صفحه تلویزیون نباید نشست.

۷-۹) برای این که بتوان پرتوهای X را به راحتی به خارج از لوله هدایت کرد و مورد استفاده قرار داد.





## ساختمان اتم - رادیواکتیویته

کشف الکترون سبب شد که تحقیقات تازه‌ای دربارهٔ شناخت ماده و ساختمان اتم آغاز شود. بررسی همهٔ نظریه‌ها و عقیده‌های مختلفی که از اواخر قرن نوزدهم تاکنون دربارهٔ اتم و ساختمان آن اظهار شده است بحث مفصل و پیچیده‌ای است که ممکن است سبب آشفتگی ذهن شود. به این جهت ما در اینجا فقط به بیان تکامل این نظریه‌ها اکتفا می‌کنیم.

### اتم رادرفورد - بور

در بخش ۱ گفتیم که تصور امروزی ما از ساختمان اتم این است که هر اتم از یک هستهٔ مرکزی تشکیل یافته است که تعدادی الکترون با ترازهای مختلف انرژی به دور آن می‌چرخند. ولی چنین تصویری فقط جنبهٔ ریاضی دارد و رسم یک شکل با ارائهٔ یک مدل واقعی از ساختمان اتم با اطلاعاتی که درحال حاضر از آن داریم مشکل است.

با وجود این استفاده از مدل قدیمی که نخستین بار توسط رادرفورد پایه‌گذاری و به وسیلهٔ بور کامل شده است در بیشتر موارد برای توجیه پدیده‌ها کافی به نظر می‌رسد.

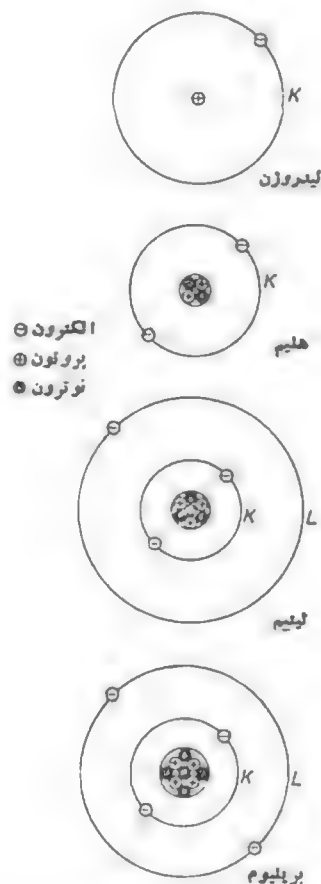
بنابر مدل اتمی رادرفورد - بور، هر اتم نمونهٔ بسیار کوچکی از منظومهٔ شمسی است که در آن هستهٔ اتم در حکم خورشید و الکترون‌ها در حکم سیارات هستند که در مدارهای مشخصی به دور هسته می‌چرخند. تاکنون بیش از صد عنصر شناخته شده است که پاره‌ای

از آنها به طور مصنوعی تهیه شده‌اند، می‌دانید که ئیدروژن در میان عناصر سبکترین آنهاست که فقط یک الکترون در مدار دارد و اورانیم سنگین‌ترین عنصر طبیعی است که دارای ۹۲ الکترون است. اسامی تمام عناصرها چه طبیعی و چه مصنوعی در جدول آخر این بخش درج شده است.

در شکل ۱-۹ ساختمان چهار اتم سبک با استفاده از مدل رادرفورد - بور نمایش داده شده است. ئیدروژن ساده‌تر از همه است که هستهٔ آن فقط از یک پروتون تشکیل یافته است؛ پروتون ذرهٔ باردار است که کوچکترین بار الکتریکی مثبت و منفرد را داراست و اندازهٔ بار الکتریکی آن برابر اندازهٔ بار الکتریکی منفی تنها الکترونی است که روی یک مدار (اربیتال) به دور هسته می‌چرخد، به طوری که مجموعهٔ این دو بار مثبت و منفی، اتم خنثای (بدون بار الکتریکی) ئیدروژن را تشکیل می‌دهند. بنا به نظریهٔ بور، همان طور که نیروی جاذبهٔ بین

خورشید و سیاره‌ها، آنها را در مدارشان به دور خورشید نگه می‌دارد، نیروی جاذبه الکتریکی بین الکترون و هسته هم الکترون‌ها را در مدارشان به دور هسته اتم نگه می‌دارد.

اتم دومی که در شکل نشان داده شده است اتم عنصر گازی شکل به نام هلیوم است که در هسته آن دو پروتون همراه با دو ذره بدون بار الکتریکی دیگر به نام نوترون است و دو الکترون مداری نیز دارد.



شکل ۱۵-۱- مدارهای اتمی رادرفورد - بور

اتم سوم، اتم عنصری است به نام لیتیم که فلز خیلی نرم و سفید رنگی است. در این اتم سه الکترون مداری به دور هسته‌ای که دارای سه پروتون و چهار نوترون است می‌چرخد. بعد از لیتیم عنصر بریلیوم است که آن هم یک فلز است. اتم بریلیوم دارای چهار الکترون مداری و چهار پروتون و پنج نوترون است. الی آخر...

## لایه‌های الکترونی

الکترون‌ها به طور دائم با سرعت بسیار زیاد در مدارهایی به دور هسته می‌چرخند و مسیر آنها ضمن حرکت طوری تغییر می‌کند که عوارض دسته معینی از آنها روی یک لایه مشخص قرار می‌گیرند. اتم بسته به بزرگی خود، ممکن است تا هفت لایه مشخص با شعاعهای مختلف داشته باشد و این لایه‌ها با حروف  $K$  و  $L$  و  $M$  و  $N$  و  $O$  و  $P$  و  $Q$  معین می‌گردند. تعداد الکترونهایی که روی هر یک از این لایه‌های هفت گانه قرار می‌گیرند محدود و مشخص است. مثلاً روی لایه  $K$  که نزدیکترین لایه به هسته است بیش از دو الکترون نمی‌تواند قرار گیرد. لایه  $L$  که دومین لایه نزدیک به هسته است با هشت الکترون کامل می‌شود. لایه سومی حداکثر ۱۸ الکترون می‌تواند داشته باشد. به طوری که اگر شماره لایه را به  $n$  نمایش دهیم ( $n = ۱, ۲, ۳, ۴, ۵, ۶, ۷, ۸$ ) احتمال توزیع الکترون‌ها روی هر لایه با عدد  $۲n^۲$  مشخص می‌شود. حجم یا بزرگی هراتم، فضایی است که به آخرین لایه الکترونی یا پوسته خارجی اتم محدود می‌گردد. هسته مرکزی اتم که قسمت عمده جرم اتم در آن متمرکز است حجم بسیار کوچکی از اتم را اشغال می‌کند به طوری که قطر آن در حدود  $\frac{۱}{۱۰۰۰۰۰}$  تا

$\frac{1}{10,000}$  قطر اتم است.

جرم هر الکترون بسیار کوچک و برابر  $\frac{1}{1836}$

جرم پروتون (هسته اتم نیدروژن) است به طوری که می توان از جرم الکترونها در مقابل جرم هسته صرف نظر کرد.

**چگونه اتم نور تابش می کند - در حالت عادی**  
هر الکترون بر روی مداری که شعاع آن ثابت است حرکت می کند، در نتیجه، الکترون در مدار خود دارای تراز انرژی ثابت و مشخص است.

**پرسش ۱-۱ -** چرا اگر شعاع مدار الکترونی ثابت بماند انرژی الکترون نیز ثابت می ماند؟

در این حالت می توان گفت که اتم دارای حداقل انرژی است، اگر مقداری انرژی اضافی از خارج به اتم داده شود، مثلاً اگر به جسمی گرما داده شود، با این که یونهای خیلی سریع در لوله تخلیه الکتریکی به اتمهای یک گاز برخورد کنند، اتم تحریک می شود، به این معنی که، یک یا چند الکترون از یک تراز انرژی به تراز انرژی بالاتر می رود. ولی اتمی که تحریک شده است نمی تواند مدت طولانی در حالت

ناپایدار تحریک شده باقی بماند بنابراین الکترونها به تراز انرژی اصلی خود بازمی گردند و انرژی که دریافت کرده اند به شکل انرژی تابشی به صورت بسته های بسیار کوچک انرژی به نام فوتون منتشر می سازند (شکل ۱-۲)

به طور کلی، نور حاصل از هر نوع لامپ، به علت تابش میلیاردها فوتون است که از اتمهای تحریک شده خارج می شوند.

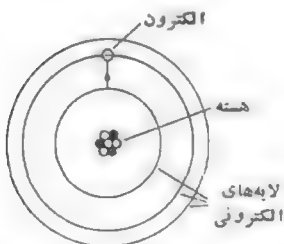
نه تنها تحریک اتمها سبب ایجاد نور مرئی می شود بلکه پرتوهای X و فوق بنفش و زیر قرمز نیز در اثر تحریک اتمهای ماده تولید می گردند.

## عدد جرمی و عدد اتمی - ایزوتوپها

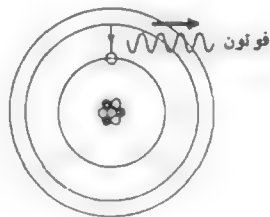
مجموع تعداد پروتونها و نوترونهای موجود در هسته اتم را «عدد جرمی» اتمی نامند و به A نمایش می دهند.

تعداد پروتونهای موجود در هسته اتم را «عدد اتمی» گویند و آن را به Z نمایش می دهند.

**پرسش ۱-۲ -** چه رابطه ای بین عدد اتمی و تعداد الکترونهای مداری اتم برقرار است؟



وقتی که الکترون انرژی دریافت می کند از لایه اصلی خود به لایه ای که انرژی آن بیشتر است می رود.



وقتی که الکترون از لایه با انرژی بیشتر به لایه اصلی خود بر می گردد انرژی دریافتی را به صورت فوتون تابش می کند

شکل ۱-۲ چگونه اتم نور تابش می کند؟

را به N نمایش دهیم خواهیم داشت.

$$A = Z + N$$

چنان که می دانید عناصر را بر حسب عدد اتمی - شان در جدولی ردیف کرده اند که آن را جدول تناوبی عناصر یا جدول مندلیف گویند زیرا این جدول نخستین بار توسط مندلیف شیمی دان روسی تنظیم شده است. می دانید از يك عنصر صورتهای متفاوت دیگری نیز وجود دارد که آنها را «ایزوتوپ» آن عنصر گویند به این معنی که عدد اتمی (تعداد پروتونهای) همه ایزوتوپهای يك عنصر یکی است ولی تعداد نوترونهای درون هسته متفاوت و بنابراین عدد جرمی آنها متفاوت است. همه عنصرهای طبیعی دارای ایزوتوپ هستند مثلاً نئیدروژن که سبکترین عناصر است دارای دو ایزوتوپ دیگر به نام دوتریم (نئیدروژن سنگین) و تری تیم است (شکل ۱۰-۳). دوتریم علاوه بر پروتون، يك نوترون و تری تیم، دو نوترون درهسته دارد.

می دانید که در شیمی برای نشان دادن هر عنصر علامت اختصاری خاصی به کار می برند که شاخص آن عنصر است. فیزیک دانها هم همین علامات اختصاری را برای نشان دادن هسته های مختلف به کار می برند ولی دو عدد که به ترتیب معرف «عدد جرمی» و «عدد اتمی» عنصر است در بالا و پایین علامت اختصاری قرار می دهند. مثلاً، ایزوتوپهای نئیدروژن به صورت  ${}^1_1\text{H}$  و  ${}^2_1\text{H}$  و ایزوتوپهای کربن به صورت  ${}^{12}_6\text{C}$  و  ${}^{14}_6\text{C}$  نوشته می شود.



لیدروژن  
 ${}^1_1\text{H}$



دوتریم  
 ${}^2_1\text{H}$



تری تیم  
 ${}^3_1\text{H}$

شکل ۱۰-۳- نمایش ساده ای از ایزوتوپهای لیدروژن طبق مدل رادرفورد - بور

### رادیواکتیویته

در سال ۱۸۹۶ میلادی هانری بکرل<sup>۱</sup> استاد فیزیک دانشگاه پاریس ضمن بررسی خاصیت فلئورسانس در اجسام، کشف کرد که از نمکهای اورانیم پرتوهایی خارج می شود که بر صفحه عکاسی اثر می کنند. روش بکرل این بود که صفحه های حساس

۱- Henri Becquerel ( ۱۸۵۲-۱۹۰۸ )

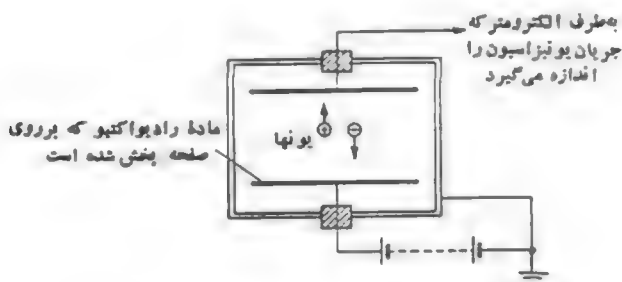
دارای خاصیت فلوئورسانس هستند، ولی عامل انتشار چنین پرتوهای نافذی از نمکهای اورانیم چیز دیگری غیر از خاصیت فلوئورسانس بود! این خاصیت جدید «رادیواکتیویته» نامیده شد.

### کشف مواد رادیواکتیو تازه

در پاریس، دو دانشمند دیگر به کشف هانری بکرل علاقه مند شدند. این دو دانشمند ماری کوری<sup>۱</sup> و شوهرش پیر کوری<sup>۲</sup> (که بعدها استاد دانشگاه پاریس شد) بودند، و تحقیقات بکرل را دنبال کردند. کوریها متوجه شدند که پرتوهای حاصل از اورانیم مولکولهای هوا را یونیزه می کنند و براساس این خاصیت شدت تابش این پرتوها را اندازه گرفتند. شکل ۴-۱ طرح ساده اسبابی را نشان می دهد که آنان برای اندازه گیریهای خود به کار بردند. این اسباب از یک جعبه فلزی به نام «اتاقک یونیزاسیون» تشکیل شده است که درون آن دو صفحه فلزی مقابل هم قرار داده شده اند. بدنه جعبه به زمین وصل شده

عکاسی را در لفافه هایی از کاغذ سیاه کاملاً می پوشانید و بلورهای مواد مختلف را روی آنها می گذاشت و مدتی در آفتاب قرار می داد. سپس با ظاهر کردن صفحه حساس، خاصیت فلوئورسانس بلور را بررسی می کرد. به این معنی که اگر بلور پرتوهایی تابش می کرد، این پرتوها مانند پرتوهای X از کاغذ لفافه می گذشت و روی صفحه حساس عکاسی اثر می گذاشت. بکرل با این روش مواد مختلفی را که در مقابل نور آفتاب خاصیت فلوئورسانس پیدا می کردند آزمایش کرد ولی نتیجه مثبت نگرفت تا این که آزمایش را بایکی از نمکهای اورانیم انجام داد. این بار نتیجه مثبت بود و روی صفحه حساس عکاسی یک لکه سیاه دیده شد.

بکرل با ادامه آزمایشهای خود متوجه شد که نمک اورانیم اگر در نور آفتاب هم واقع نشود، حتی در تاریکی، از خود پرتوهایی منتشر می کند که به همان شدت بر صفحه حساس عکاسی اثر می گذارد و اظهار داشت که نمکهای اورانیم خود به خود



شکل ۴-۱- چگونگی اندازه گیری رادیواکتیویته به وسیله اتاقک یونیزاسیون (نوع کوریها)

۱- Marie Curie (۱۸۶۷-۱۹۳۴ م)

۲- Pierre Curie (۱۸۵۹-۱۹۰۶ م)

است و دو صفحه فلزی با عایق از آن جدا شده‌اند. صفحه پایینی به وسیله باتری الکتریکی به پتانسیل زیادی برده شده و صفحه بالایی به يك الكترومتر (دستگاه سنجش مقدار الكتریسته) متصل است.

اگر قدری ماده رادیواکتیو روی صفحه پایینی پخش شود پرتوهای حاصل از آن مولکولهای هوای بین دو صفحه را یونیزه می‌کنند و یونهای مثبت و منفی به سبب وجود میدان الکتریکی میان دو صفحه در خلاف جهت هم به سوی صفحه‌ها حرکت می‌کنند و جذب آنها می‌شوند در نتیجه جریان ضعیفی ایجاد می‌شود که می‌توان آن را با الكترومتر اندازه گرفت. چون شدت جریان حاصل با شدت تابش ماده رادیواکتیو متناسب است با اندازه‌گیری شدت جریان میزان شدت ماده رادیواکتیو برآورد می‌شود.

کوریها ضمن بررسیهای خود پی بردند که مواد محلولی توریم، نیز مانند نمکهای اورانیم رادیواکتیو هستند و از خود پرتوهای یونیزه‌کننده‌ای پخش می‌کنند. محتر این که آنان کشف کردند که در يك نوع سنگ معدنی اورانیم به نام پیچبلاندا<sup>۱</sup> خاصیت رادیواکتیویته شدیدتر از آن خود اورانیم است. دولت اتریش پس از اطلاع از این موضوع يك هزار كيلو گرم از باقیمانده‌های پیچبلاندا را که اورانیم آنها استخراج شده بود در اختیار کوریها گذارد و آنان پس از چندین هفته کار مداوم و پرعزم از آن همه سنگ معدنی مقدار کمی عنصر ناشناخته رادیواکتیو به دست آوردند و آن را به افتخار زادگاه ماری کوری (پولند = لهستان) پولونیم نام نهادند

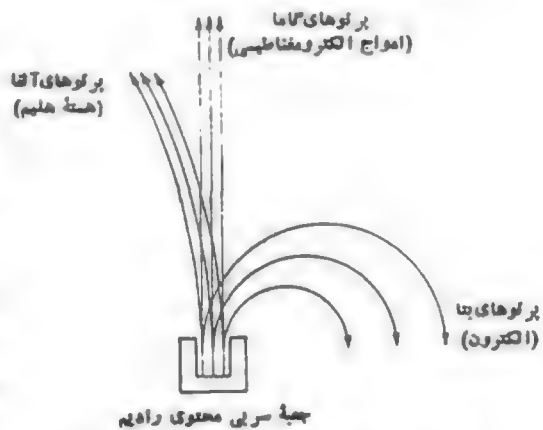
و با ادامه تحقیقات خود بر روی همین سنگهای معدنی عنصر رادیواکتیو تازه دیگری کشف کردند که خاصیت رادیواکتیویته آن خیلی شدیدتر بود و آن را دادیم نامیدند. اینک لازم بود که قدم بعدی درباره شناخت ماهیت پرتوهای یونیزه‌کننده‌ای که از این عناصر تازه پخش می‌شد برداشته شود.

### ماهیت پرتوهایی که از مواد رادیواکتیو خارج می‌شوند

در سال ۱۸۹۹ میلادی رادرفورد تحقیقات دامنه‌داری درباره شناخت ماهیت پرتوهای حاصل از مواد رادیواکتیو به عمل آورد. زمینه این تحقیقات از پیش فراهم بود زیرا، هم بکرل و هم کوریها یادآور شده بودند که قسمتی از پرتوهای رادیواکتیو درست مانند پرتوهای کاتدیک در میدان مقناطیسی منحرف می‌شوند و مانند آنها دارای بار منفی هستند و قسمت دیگر دارای بار مثبت بوده در خلاف جهت پرتوهای کاتدیک منحرف می‌گردند علاوه بر این مشاهده شده بود که قسمتی از پرتوهای رادیواکتیو هم مانند پرتوهای X در میدان مقناطیسی منحرف نمی‌شوند. نتیجه تحقیقات رادرفورد هم منجر به شناسایی سه نوع تابش شد و برای سهولت بیان رادرفورد آنها را پرتوهای آلفا ( $\alpha$ ) و بتا ( $\beta$ ) و گاما ( $\gamma$ ) نام نهاد. وی مقدار کمی رادیم در سه يك محفظه سربی گذاشت و يك آهن‌ربای بسیار قوی عمود بر مسیر پرتوها قرار داد به طوری که راستای میدان حاصل از آن بر مسیر پرتوها عمود بود، پرتوهای آلفا و بتا به هنگام عبور از این میدان در دو جهت

مخالف هم منحرف شدند و پرتوهای گاما بدون انحراف از میدان گذشتند.

ماری کوری نتایج حاصل از چند آزمایش را در شکلی مانند شکل ۷-۵ خلاصه کرده است. باید توجه داشت که این شکل، نمایشی از ترکیب سه نوع پرتوهای نامبرده است و بررسی هر سه نوع پرتو با هم در یک آزمایش غیر ممکن است.



شکل ۷-۵- نمایشی از انحراف پرتوهای رادیواکتیو در میدان مقناطیسی

ما در این کتاب نمی‌توانیم همه آزمایشهایی را که منجر به کسب اطلاعات امروزه ما درباره تابش رادیواکتیو شده است شرح دهیم ولی لازم می‌دانیم که خواص عمده پرتوهای رادیواکتیو را به اختصار بیان کنیم:

پرتوهای آلفا<sup>۱</sup> هسته‌های هلیوم هستند یعنی اتمهای هلیومی که دو الکترون خود را از دست داده‌اند بنابراین، دارای بار الکتریکی مثبت هستند.

تمام ذرات آلفایی که از يك ماده رادیواکتیو خاص به بیرون پرتاب می‌شوند تقریباً دارای يك سرعت هستند. برد این ذرات در هوا (یعنی مسافتی که می‌پیمایند نامتوقف شوند) در حدود چند سانتیمتر است ولی يك ورقه خیلی نازك آلومینیوم با يك ورقه کاغذ معمولی آنها را متوقف می‌کند.

پرتوهای بتا جویانی از الکترونهاي پرتوی هستند که خیلی شبیه به پرتوهای کاتدیک هستند. سرعت انتشار آنها از مواد رادیواکتیو متفاوت است و تا نزدیک سرعت مسیر نور می‌رسد. پرتوهای بتایی که انرژی بیشتری دارند از ورقه‌های آلومینیوم به ضخامت چند میلیمتر می‌گذرند.

پرتوهای گاما از فوتونهای پرتوی تشکیل یافته‌اند و از جنس پرتوهای X هستند. قابلیت نفوذ پرتوهای گامای پرتوی در ماده خیلی زیاد است و فقط در قطعات سرب ضخیم به ضخامت چندین سانتیمتر جذب می‌شوند. فرق اساسی بین پرتوهای گاما و پرتوهای X در این است که پرتوهای گاما از تغییرات میزان انرژی در هسته اتم به وجود می‌آیند در صورتی که پرتوهای X از تغییر انرژی در الکترونهاي اتم حاصل می‌شوند.

### نیمه عمر ماده رادیواکتیو

باید در نظر داشت که خاصیت رادیواکتیو به در يك ماده رادیواکتیو به تدریج کاهش می‌یابد. به عبارت دیگر، هر ماده رادیواکتیو عمر مشخصی دارد، زیرا، پرتوهای رادیواکتیو از متلاشی

۱- در واقع "پرتو آلفا" اصطلاح مناسبی نیست و باید دژه آلفا گفته شود. ولی مجموعه این ذرات رمز آلفا را که از ماده رادیواکتیو به خارج پرتاب می‌شوند پرتوهای آلفا نامیده‌اند.

دل هسته اتم به دست می آیند و عمل متلاشی شدن هسته در اتمهای هرماده رادیواکتیو با نظم معینی صورت می گیرد که خاص آن ماده است و در اثر این عمل، ماده رادیواکتیو به ماده دیگر تبدیل می شود. دانشمندان برای ماده رادیواکتیو «نیمه عمر» تعریف کرده اند. نیمه عمر هرماده رادیواکتیو زمانی است که در آن زمان فقط نصف اتمهای رادیواکتیو موجود در آن ماده متلاشی می شوند. مثلاً رادیم دارای نیمه عمر ۱۶۲۰ سال است، به این معنی که اگر یک گرم رادیم هم اکنون داشته باشیم پس از گذشت ۱۶۲۰ سال ۵/۵ گرم آن استحاله یافته به عناصر دیگر تبدیل می شود و نیم گرم آن دست نخورده باقی می ماند. پس از گذشت ۱۶۲۰ سال دیگر، نصف آنچه باقی مانده است (یعنی ۵/۲۵ گرم) استحاله پیدا می کند تا آخر...

نیمه عمر عناصر رادیواکتیو بسیار متفاوت است. مثلاً نیمه عمر راون ۴ روز و نیمه عمر اورانیم ۴/۵ × ۱۰<sup>۹</sup> سال است.

پرسش ۱۰-۳. دوماه رادیواکتیو که خاصیت رادیواکتیو به در هر دو یکسان است دارای نیمه عمر متفاوتند. در کدام یک از این دوماه شدت تابش پرتوهای رادیواکتیو بیشتر است؟

## کاربرد ایزوتوپهای رادیواکتیو

الف - در پزشکی - بهره ای از ایزوتوپهای رادیواکتیو یا به عبارت دیگر، «ادیو ایزوتوپها» در بعضی از اعضای درونی بدن جذب می شوند. خاصیت جذب رادیو ایزوتوپها در اعضای بدن، انتخابی است یعنی هر عضو، رادیو ایزوتوپ ویژه ای را جذب می کند. در نتیجه، غلظت ماده رادیو ایزوتوپ، در

آن عضو زیاد می شود. مثلاً، به رادیواکتیو در غده تیروئید زیاد جذب می شود. رادیو ایزوتوپها در پزشکی به عنوان «دیاپ» به کار می روند یعنی مقادیر خیلی کم از رادیو ایزوتوپهایی که خاصیت رادیواکتیو به آنها ضعیف است به مریضها تزریق می شود. این مواد وارد خون شده و ضمن گردش در بدن، در عضو مورد نظر جمع می شوند و تمرکز آنها در عضو به وسیله دستگاه سنجش رادیواکتیو به مشخص می گردد.

ب - در کشاورزی و صنعت - فن ردیابی به وسیله رادیو ایزوتوپها در کشاورزی و صنعت نیز به کار می رود: در کشاورزی برای مطالعه این که مواد شیمیایی موجود در کودهای مصنوعی چگونه و به چه اندازه جذب گیاهان می شود و در صنعت برای تعیین میزان فرسایش قطعات فلزی ماشینها که دائماً در حرکت بوده و ساییده می شوند. طرز کار این است که به مصالح ساختمانی این قطعات، مقدار کمی ماده رادیو ایزوتوپ اضافه می کنند و ماشینها را به کار می اندازند و با اندازه گیری میزان رادیو اکتیو به درمایع یا در روغنی که برای سرد کردن آنها مصرف می شود میزان فرسایش قطعات را اندازه می گیرند. در صنایع کاغذ سازی و پلاستیک سازی با اندازه گیری میزان جذب پرتوهای گاما، ضمن عبور از ورقه های کاغذ یا پلاستیک، ضخامت ورقه ها را به طور خودکار کنترل می کنند.

پرسش ۱۰-۴. به نظر شما، آیا می توان با استفاده از خاصیت جذب پرتوهای گاما، یکنواخت بودن ضخامت ورقه های فلزی را نیز کنترل کرد؟  
پرتوهای گامای حاصل از کبالت ۶۰ (کبالت با جرم اتمی ۶۰ که ایزوتوپ رادیواکتیو کبالت



که در معرض خطر تابش آنها قرار گرفتند است. خطر پرتوهای آلفا کمتر است زیرا مستقیماً نمی‌توانند وارد بدن شوند یعنی از پوست بدن نمی‌توانند بگذرند مگر آن که با هوا یا آب یا مواد غذایی وارد بدن شوند و جذب خون گردند.

جلو پرتوهای بتا را می‌توان به وسیله ورقه حفاظ آلومینیومی یا پرسپکس که چند میلیمتر ضخامت داشته باشند گرفت.

برای حفاظت در مقابل پرتوهای گاما حفاظ‌های سربی لازم است. یعنی ماده رادیواکتیوی که پرتو گاما تابش می‌کند باید درون محفظه سربی قرار گیرد. خوردن و آشامیدن مواد رادیواکتیو ممنوع است. در آزمایشگاه پس از کار با مواد رادیواکتیو باید دستها به دقت شسته شوند و با وسایل تابش-سنج امتحان گردند. رپوشهای آزمایشگاهی باید دائماً از نظر آلوده شدن به مواد رادیواکتیو امتحان

است) به جای پرتوهای X در رادیوگرافی و معالجه سرطان نیز به کار می‌رود. کاربرد رادیو ایزوتوپ کبالت به جای پرتوهای X این مزیت را دارد که حمل و نقل آن آسانتر است و پتانسیل الکتریکی زیاد که در دستگاههای مواد پرتوهای X به کار می‌رود لازم نیست.

## لزوم حفاظت در برابر پرتوهای رادیواکتیو

با مواد رادیواکتیو باید با نهایت دقت و احتیاط کار بشود. زیرا پرتوهای رادیواکتیو در روی بدن اثر نامطلوب دارند. هرچند هم میزان تابش رادیواکتیویته کم باشد اگر بدن مدت طولانی در معرض تابش رادیواکتیو قرار گیرد ممکن است ایجاد سرطان خون کند و همین عامل سبب مرگ مادام کوری شد. متأسفانه پرتوهای رادیواکتیو مرئی نیستند به همین جهت انسان نمی‌تواند تشخیص دهد



شکل ۱۵-۶- موخنکی و حشناك حاصل از تابش پرتوهای گاما روی بدن در بیماران المی شهر هیروشیما در ژاپن  
پوسله نیروی هوایی امریکا (در سال ۱۹۴۵ میلادی)

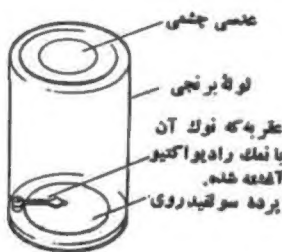
شوند. چشمه‌های رادیواکتیو قویتر حفاظت بیشتری لازم دارند و کار کردن با آنها دقت و احتیاط بیشتری می‌خواهد.

که نیمه عمر کوتاهی در حدود چند روز یا چند هفته دارند پس از گذشت این مدت بی‌ضرر می‌شوند و به همین جهت آنها را در پزشکی یا در صنعت و کشاورزی به کار می‌برند.

## خودتان آزمایش کنید

شکل ۷-۱۰ اسبابی را نشان می‌دهد که برای شمردن ذرات آلفایی که از يك ماده رادیو-اکتیو خارج می‌شوند به کار می‌رود. این اسباب توسط کروکس ساخته شده است و «اسپین تاريسكوپ» نام دارد و از يك لوله کوتاه برنجی تشکیل یافته است که در ته آن صفحه‌ای آغشته به يك لایه نازك سولفید روی قرار دارد. درست در بالای این صفحه، يك عقربه كوچك، مانند عقربه ساعت مچی نصب شده است و در نوك عقربه مقدار خیلی کمی از يك ماده «رادیواکتیو» دهنده آلفا مانند اورانیوم وجود دارد. بالای لوله به وسیله يك ذره بین بسته شده است. ذرات آلفا که از ماده رادیواکتیو خارج می‌شوند در محل برخورد خود به لایه سولفید روی نقاط درخشانده‌ای مانند جرقه تولید می‌کنند که می‌توان آنها را شمرد.

اگر چنین دستگاهی در اختیار دارید نقاط درخشانده‌ای که در مدت معین، مثلاً ۱۰ دقیقه روی صفحه سولفید روی به وجود می‌آیند بشمارید و تعداد ذرات آلفایی را که در هر دقیقه به این صفحه برخورد می‌کنند حساب کنید. می‌توانید با راهنمایی دبیر فیزیک خود چنین دستگاهی بسازید.



شکل ۷-۱۰ اسپین تاريسكوپ

## به این پرسشها پاسخ دهید

(۱) شکل ساده اتم نیدروژن و ایزوتوپهای آن را نمایش دهید و اجزای تشکیل دهنده آنها را نام ببرید.

(۲) سه نوع پرتوهایی را که از مواد رادیواکتیو خارج می‌شوند نام ببرید و خواص آنها را شرح دهید.

(۳) اصطلاحات عدد جرمی و عدد اتمی را تعریف کنید.

اگر  ${}_{28}^{64}\text{Ni}$  و  ${}_{29}^{64}\text{Cu}$  به ترتیب نمایش هسته اتمهای مس و نیکل باشد هر یک از اعدادی که در بالا و پایین این علامات اختصاری گذارده شده است معرف چیست؟ چند نوترون در هر یک از این هستهها وجود دارد؟

(۴) قلع (Sn) بیست و پنج ایزوتوپ دارد که سبکترین آنها به صورت  ${}_{50}^{100}\text{Sn}$  است با در نظر گرفتن این که تمام ایزوتوپیایی که امکان وجود آنها هست موجود باشند علامت اختصاری سنگین‌ترین ایزوتوپ قلع را بنویسید.

(۵) نیمه عمر کسنو رادیواکتیو ۱۴ روز است. اگر ۲ گرم از این ماده را در محفظه‌ای داشته باشیم پس از ۲۸ روز چه مقدار از آن دست نخورده باقی می‌ماند؟  
ج- به نظر شما گرما و فشار چه اثری بزرگ ماده رادیواکتیو دارد؟

## پاسخ به پرسشهای متن

۱-۱۰) زیرا سرعت الکترون ثابت می‌ماند و در نتیجه الکترون روی مدار مشخصی حرکت می‌کند که تراز انرژی آن ثابت است.

۲-۱۰) (عدد اتمی)  $Z$  = تعداد پروتونها = تعداد الکترونها.

۳-۱۰) رادیو ایزوتوپی که دارای نیمه عمر کوتاهتر است شدت تابش بیشتری دارد.

۴-۱۰) بلی، پرتوهای گاما درقلزات نیز جذب می‌شوند و هرچه ضخامت ورقه فلزی بیشتر باشد میزان جذب این پرتوها نیز بیشتر است.

جدول عناصرها

Atomic number Z	Symbol	Name	Atomic number Z	Symbol	Name
1	H	Hydrogen	54	Xe	Xenon
2	He	Helium	55	Cs	Caesium
3	Li	Lithium	56	Ba	Barium
4	Be	Beryllium	57	La	Lanthanum
5	B	Boron	58	Ce	Cerium
6	C	Carbon	59	Pr	Praseodymium
7	N	Nitrogen	60	Nd	Neodymium
8	O	Oxygen	61	Pm	Promethium
9	F	Fluorine	62	Sm	Samarium
10	Ne	Neon	63	Eu	Europium
11	Na	Sodium	64	Gd	Gadolinium
12	Mg	Magnesium	65	Tb	Terbium
13	Al	Aluminium	66	Dy	Dysprosium
14	Si	Silicon	67	Ho	Holmium
15	P	Phosphorus	68	Er	Erbium
16	S	Sulphur	69	Tm	Thulium
17	Cl	Chlorine	70	Yb	Ytterbium
18	Ar	Argon	71	Lu	Lutetium
19	K	Potassium	72	Hf	Hafnium
20	Ca	Calcium	73	Ta	Tantalum
21	Sc	Scandium	74	W	Tungsten
22	Ti	Titanium	75	Re	Rhenium
23	V	Vanadium	76	Os	Osmium
24	Cr	Chromium	77	Ir	Iridium
25	Mn	Manganese	78	Pt	Platinum
26	Fe	Iron	79	Au	Gold
27	Co	Cobalt	80	Hg	Mercury
28	Ni	Nickel	81	Tl	Thallium
29	Cu	Copper	82	Pb	Lead
30	Zn	Zinc	83	Bi	Bismuth
31	Ga	Gallium	84	Po	Polonium
32	Ge	Germanium	85	At	Astatine
33	As	Arsenic	86	Rn	Radon
34	Se	Selenium	87	Fr	Francium
35	Br	Bromine	88	Ra	Radium
36	Kr	Krypton	89	Ac	Actinium
37	Rb	Rubidium	90	Th	Thorium
38	Sr	Strontium	91	Pa	Protactinium
39	Y	Yttrium	92	U	Uranium
40	Zr	Zirconium	93	Np	Neptunium
41	Nb	Niobium	94	Pu	Plutonium
42	Mo	Molybdenum	95	Am	Americium
43	Tc	Technetium	96	Cm	Curium
44	Ru	Ruthenium	97	Bk	Berkelium
45	Rh	Rhodium	98	Cf	Californium
46	Pd	Palladium	99	E	Einsteinium
47	Ag	Silver	100	Fm	Fermium
48	Cd	Cadmium	101	Mv	Mendelevium
49	In	Indium	102	No	Nobelium
50	Sn	Tin	103	Lw	Lawrencium
51	Sb	Antimony	104	Ku	Kurchatovium
52	Te	Tellurium	105	Ha	Hahnium
53	I	Iodine			

عناصری که در این جدول با حروف ایتالیک نوشته شده‌اند در طبیعت یافت نمی‌شوند و به طور مصنوعی تهیه می‌گردند.



منابعی که در تدوین کتاب به آنها مراجعه شده است

- ۱- Ordinary Level Physics, A. F. Abbott.
- ۲- Physics, Edited by D. W. Scott, M. A.
- ۳- College Physics, Physical Science, Study Committee.
- ۴- Foundation of Physics, Robert L. Lehrman Clifford Swartz.
- ۵- Physics, Irwin Genzer, Phillip Youngner.
- ۶- Physics, Taffel.
- ۷- The science of Physics, Arthur Beiser.
- ۸- Modern Physics, Charles E. Dull, A. Clark Metcalfe,  
William O. Brooks.
- ۹- Physique, J. Cessac, Q Treherne 1°C
- ۱۰- Physique Generale, H. Brasseur, H. Sauvernier.
- ۱۱- Electrostatique, Courants Continus, Magnetisme,  
P. Fleury et J.P. Mathieu.
- ۱۲- A Contemporary Wiew of Elementary Physics, Eorowitz  
and Bornstein.
- ۱۳- Physics, David Halliday, Robert Resnick, Part 2.
- ۱۴- Project Physics.
- ۱۵- Modern College Physics, Harvey c. White.
- ۱۶- Elements of Physics, Alpheus W. Smith and John N.  
Cooper.

